



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EXTRACCION DE NUTRIENTES CALCIO, MAGNESIO Y  
AZUFRE, EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DEL  
CULTIVO DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) EN EL  
DISTRITO BANDA DE SHILCAYO – SAN MARTIN.**

**Tesis para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:**

**Bach: Anita Fiorella Sandoval Marín**

**ASESOR:**

**Dr. Carlos Rengifo Saavedra**

**Tarapoto – Perú**

**2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



EXTRACCION DE NUTRIENTES CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE,  
EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE SACHA  
INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) EN EL DISTRITO BANDA DE  
SHILCAYO –SAN MARTIN.

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

Bach: Anita Fiorella Sandoval Marín

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 19 de marzo 2014

Handwritten signature of Guillermo Vásquez Ramírez in blue ink.

.....  
Ing. M. Sc. Guillermo VÁSQUEZ RAMIREZ  
PRESIDENTE

Handwritten signature of Roaldo López Fulca in blue ink.

.....  
Ing. Roaldo LÓPEZ FULCA  
SECRETARIO

Handwritten signature of Tedy Castillo Díaz in blue ink.

.....  
Ing. M. Sc. Tedy CASTILLO DÍAZ  
MIEMBRO

Handwritten signature of Carlos Rengifo Saavedra in blue ink.

.....  
Dr. Carlos RENGIFO SAAVEDRA  
ASESOR

## Declaración de Autenticidad

Yo, ANITA FIORELLA SANDOVAL MARÍN, egresado(a) de la Facultad de CIENCIAS AGRARIAS de la Escuela Profesional de AGRONOMÍA, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 70416128, Domiciliado en: Jr. RIOJA Cdra. 18 – Yuracyacu - Rioja, con la tesis titulada: “EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE, EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.), EN EL DISTRITO BANDA DE SHILCAYO – SAN MARTIN”.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndose a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 19 de marzo del 2014

  
.....  
ANITA FIORELLA SANDOVAL MARÍN  
DNI N° 70416128



**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: SANDOVAL MARIN ANITA FIORELLA	
Código de alumno : 081172	Teléfono: 966020568
Correo electrónico : anitafiorella.smarin20@gmail.com	DNI: 70416128

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional de: AGRONOMÍA

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	( X )	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos de trabajo de investigación**

Título: "EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE, EN CUATRO ETAPAS FENOLOGICAS DEL CULTIVO DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis L.) EN EL DISTRITO BANDA DE SHILCAYO - SAN MARTIN"
Año de publicación: 2014

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	( X )	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indiquen el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital**

Por el presente deixo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el Título Profesional o Grado Académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el Inciso 12.2, del Artículo 12° del Reglamento Nacional de Trabajos de Investigaciones para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales –RENATI “Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.

.....  
Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM-T.

Fecha de recepción del documento:

15 / 11 / 2018



.....  
Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM-T.

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\***Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres:

**JOSE Y OLGUI**, que sembraron en mi los valores del amor de DIOS, la honestidad, el esfuerzo, el trabajo y una carrera profesional; con el fin de que hoy pueda ser útil a la sociedad. A ellos con mucho esfuerzo y amor

A mis queridos hermanos **LIZZETTE**, **JOSE** y **FERNANDO**, mí amada hija **ARIADNE FIORELLA**, por sus apoyos incondicionales cada día.

## AGRADECIMIENTO

- A Dios por darme fuerza y sabiduría para enfrentar obstáculos y seguir adelante aun en los momentos más difíciles.
- Al Ing. Dr. M.Sc. Carlos Rengifo Saavedra, docente de la FCA de la UNSM-T, asesor del presente trabajo de investigación.
- Al Blgo. Ángel Martín Rodríguez del Castillo, investigador del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Co-Asesor del presente trabajo de investigación, por su gran amistad y apoyo incondicional.
- Al Ing. M. Sc. Javier Ormeño Luna por el apoyo incondicional en el desarrollo del procesamiento y análisis de datos experimentales.
- A la Facultad de Ciencias Agrarias carrera profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto por darnos a todos los estudiantes la oportunidad de formarnos como profesionales de vanguardia, al lado de excelentes docentes.
- A todos los amigos que laboran en el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) por su amistad y su apoyo incondicional en el desarrollo de la presente investigación.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes del cultivo .....	3
1.1.1. Generalidades del cultivo de sacha inchi.....	3
1.1.2. Requerimientos edafoclimáticos.....	6
1.1.3. Fenología del cultivo .....	9
1.2. Antecedentes de nutrición mineral.....	9
1.2.1. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. ....	9
1.2.2. El Calcio, magnesio y azufre en el crecimiento de las plantas.....	11
<b>CAPÍTULO II: MATERIALES Y METODO.....</b>	<b>15</b>
2.1 Ubicación del campo experimental.....	15
2.2 Metodología.....	18
2.2.1 Diseño y características del experimento.....	18
2.2.2 Fuentes de fertilizantes.....	19
2.2.3 Tratamientos estudiados.....	19
2.2.4 Variables evaluadas.....	23
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>24</b>
3.1. Resultados.....	24
3.2. Discusiones.....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1:	Datos climáticos de la zona donde se desarrolló el trabajo de investigación.....	16
Tabla 2:	Caracterización de suelos del campo experimental Pucayacu.....	17
Tabla 3:	Esquema de Análisis de Varianza.....	18
Tabla 4:	Valores esperados de los cuadrados medios.....	18
Tabla 5:	Dosis de fertilización. Cantidades Expresadas en Kg Hectárea <sup>-1</sup> .....	19
Tabla 6:	Distribución de los tratamientos estudiados.....	20
Tabla 7:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en el área foliar del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	24
Tabla 8:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en el área foliar del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	25
Tabla 9:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la materia seca del cultivo de sacha inchi registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	26
Tabla 10:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la materia seca del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.....	27
Tabla 11:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la raíz del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	29
Tabla 12:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la raíz del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	30
Tabla 13:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el tallo del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	31
Tabla 14:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el tallo del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 112 y 225 días después de la siembra.....	32
Tabla 15:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la hoja del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	33
Tabla 16:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la hoja del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	34
Tabla 17:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el fruto del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	36
Tabla 18:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el fruto del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.....	37

Tabla 19:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	39
Tabla 20:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	40
Tabla 21:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	41
Tabla 22:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 225 días después de la siembra.....	42
Tabla 23:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	43
Tabla 24:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	44
Tabla 25:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	46
Tabla 26:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.....	47
Tabla 27:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	49
Tabla 28:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.....	50
Tabla 29:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	51
Tabla 30:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.....	52
Tabla 31:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	53
Tabla 32:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.....	54
Tabla 33:	Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.....	55
Tabla 34:	Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1:	Curva de Crecimiento en Área Foliar del Sacha Inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	25
Figura 2:	Curva de crecimiento en materia seca del sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	27
Figura 3:	Curva de crecimiento para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	28
Figura 4:	Curva absorción de Ca en la raíz para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	30
Figura 5:	Curva de absorción de Ca en el tallo para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	32
Figura 6:	Curva de absorción de Ca en la hoja para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	35
Figura 7:	Curva de absorción de Ca en el fruto para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	37
Figura 8:	Curva de crecimiento para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	38
Figura 9:	Curva absorción de Mg en la raíz para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	40
Figura 10:	Curva de absorción de Mg en el tallo para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	42
Figura 11:	Curva de absorción de Mg en la hoja para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	45
Figura 12:	Curva de absorción de Mg en el fruto para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	47
Figura 13:	Curva de crecimiento para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	48
Figura 14:	Curva absorción de S en la raíz para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	50
Figura 15:	Curva de absorción de S en el tallo para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	52
Figura 16:	Curva de absorción de S en la hoja para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	54
Figura 17:	Curva de absorción de S en el fruto para el sachu inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.....	56

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca determinar los niveles de extracción de Ca, Mg y S en las cuatro etapas fenológicas del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), dentro del cual se determinó la curva de absorción; la absorción y extracción del calcio, magnesio y azufre en relación con el comportamiento fenológico del cultivo. Se utilizó un DBCA constituido por tres tratamientos y cuatro repeticiones. Se ha realizado un análisis de suelos, análisis de tejidos (raíz, tallo, hoja, flores y frutos), definiéndose las etapas fenológicas más importantes del ciclo del cultivo; las evaluaciones se realizaron a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra (dds) tomándose una muestra por tratamiento en cada etapa fenológica, obteniéndose el peso fresco de cada órgano para luego ser enviadas al laboratorio de la UNALM para su respectivo análisis nutricional, el método utilizado para la determinación de calcio y magnesio fue la de la Absorción Atómica por llama y azufre fue el del método Gravimétrico. El calcio fue el elemento con mayor concentración, siendo igual a 32.66 kg Ca ha<sup>-1</sup>, el magnesio alcanzó una concentración de 11.37 kg Mg ha<sup>-1</sup> y el azufre alcanzó una concentración registrada de 2.52 kg S ha<sup>-1</sup>. Estos datos se registraron a los 225 dds.

**Palabras clave:** *Plukenetia volubilis*, absorción, extracción, calcio, magnesio y azufre.

## ABSTRACT

The following research work seeks to determine the extraction levels of Ca, Mg and S in the four phenological stages of the sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) culture, within which the absorption curve was determined; the absorption and extraction of calcium, magnesium and sulphur in relation to the phenological behaviour of the crop. A DBCA consisting of three treatments and four repetitions was used. A soil analysis, tissue analysis (root, stem, leaf, flowers and fruits) has been carried out, defining the most important phenological stages of the crop cycle; the evaluations were made at 75, 112, 150 and 225 days after sowing (das) taking a sample for each phenological stage, obtaining the fresh weight of each organ and then sending it to the UNALM laboratory for its respective nutritional analysis, the method used for the determination of calcium and magnesium was that of the Atomic Absorption by flame and sulphur was that of the Gravimetric method. Calcium was the element with the highest concentration, being equal to 32.66 kg Ca ha<sup>-1</sup>, the magnesium reached a concentration of 11.37 kg Mg ha<sup>-1</sup> and the sulphur reached a registered concentration of 2.52 kg S ha<sup>-1</sup>. These data were recorded at 225 das.

**Key words:** *Plukenetia volubilis*, absorption, extraction, calcium, magnesium and sulphur.



## INTRODUCCIÓN

El sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), ha sido objeto de un redescubrimiento, en los últimos años, debido a sus altas concentraciones de ácidos grasos esenciales, proteínas, aminoácidos, (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) en contenidos significativamente elevados,  $\omega$  - 3 (48.6 %),  $\omega$  - 6 (36.8%) y proteínas (33%), superiores a los aceites de semillas oleaginosas tradicionales (Manco, 2007).

En nuestro país, especialmente en nuestra Amazonía viene siendo cultivado debido al incremento industrial en el mercado nacional e internacional. En la región San Martín los pobladores utilizan la almendra de sachá inchi en su alimentación, sea cocida o tostada, en la preparación de diversos potajes. Además, se estima que en el primer año puede obtenerse rendimientos promedios de 0,7 a 2,0 t/ha (Manco, 2006).

Existen estudios de sachá inchi, basados en tolerancia a la sequía de plántulas, y riego durante la estación seca y la fertilización que afectan en el crecimiento, reproducción, y semillas de plantas de *Plukenetia volubilis* L. en el trópico. En tanto, aún no hay información referida al requerimiento nutricional, para así obtener el balance específico de nutrimentos que necesita la planta para poder expresar el potencial genético que "almacenan" en su semilla (IPNI, 2012).

Todos los nutrientes dentro de la planta cumplen funciones específicas, así el Calcio estimula la producción de semillas, proporciona una mayor resistencia a los tejidos, activa la formación y crecimiento de las raicillas. El Magnesio forma parte estructural de la clorofila, es necesario para la formación de azúcares y ayuda en la asimilación de otros nutrientes. El Azufre forma parte estructural de los aminoácidos, las proteínas, vitaminas y coenzimas, además ayuda en el crecimiento vigoroso de las plantas.

Dada la importancia de los elementos antes indicados que tienen relación directa en cuanto al desarrollo y producción de la planta, que no han sido hasta hoy estudiados y que son esenciales para definir las épocas de aplicación de fertilizantes. Se ha realizado el presente trabajo con el propósito de contribuir al conocimiento sobre la cantidad de Calcio, Magnesio y Azufre que son extraídos por el cultivo de sachá inchi, en base a la aplicación

de diferentes dosis de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, en las diversas etapas fenológicas del cultivo.

La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental “Pucayacu” perteneciente al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) ubicado en el caserío de Bello Horizonte, Distrito de la Banda de Shilcayo Provincia y Región San Martín, cuyas condiciones climáticas son las requeridas por el cultivo.

El trabajo de investigación tiene como objetivo general: Determinar la extracción de calcio, magnesio y azufre, durante el ciclo productivo del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) bajo condiciones de aplicación de N, P y K.

Y como objetivos Específicos: Determinar la cantidad de Ca, Mg y S, extraídos por el cultivo de sachá inchi, durante cuatro etapas de crecimiento y producción de acuerdo a su fenología (crecimiento vegetativo; floración; cuajado - llenado de frutos y cosecha), bajo condiciones de aplicación de N-P y K, en el Bajo Mayo, Región San Martín y Evaluar la etapa o etapas fenológicas de mayor absorción de los nutrientes durante el ciclo de producción del cultivo de sachá inchi.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes del cultivo

#### 1.1.1. Generalidades del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.):

En las áreas rurales de San Martín los pobladores utilizan la almendra de sachá inchi en su alimentación, ya sea cocida o tostada en la preparación de diversos platos como inchicapi, ají de sachá inchi, cutacho, mantequilla de sachá inchi, inchi cucho, tamal de sachá inchi, turrón de sachá inchi, etc. (Brack, 1999). Soukup (1987), indica que las hojas son comestibles y que la semilla es muy nutritiva.

El valor del sachá inchi radica no sólo en los aspectos alimenticios, culturales e históricos, sino también en su rentabilidad económica. Siendo un cultivo con potencial rendimiento económico y grandes posibilidades de industrialización (Arévalo, 1995). A pesar de la importancia de la especie, el aprovechamiento comercial es aún incipiente debido a la alta variabilidad genética, que determina una alta heterogeneidad en el rendimiento y contenido de Omega 3, lo que vuelve insostenible la producción (Ruiz, 2010).

#### **Origen y distribución Geográfica**

Por su parte Valles, C.R. (1993) menciona que el Sachá Inchi está distribuida en el trópico latinoamericano desde el Sur de México, Indias occidentales, la Amazonia y el acre en Bolivia. En nuestro país se ha recolectado en Madre de Dios, Huánuco, Oxapampa, San Martín, Rodríguez de Mendoza, Ucayali (Pucallpa, Contamana y Requena), el Putumayo, alrededores de Iquitos y Caballo cocha y áreas del estrecho.

#### **Clasificación taxonómica:**

La familia Euphorbiaceae es reconocida en el Perú por presentar 61 géneros y 323 especies (Brako & Zarucchi, 1993; Ulloa *et al.*, 2004). El género *Plukenetia*

comprende 17 especies de distribución pantropical, 12 en América, 03 en África, 01 en Madagascar y 01 en Asia (Gillespie, 1993).

Hasta el año 2008 fueron descritas para la Amazonía peruana, cuatro especies en base a caracteres morfológicos: *P. volubilis* L., *P. brachybotrya* Müll. Arg., *P. lorentensis* Ule, y *P. polyadenia* Müll. Arg. Recientemente fue descrita, para la región Amazonas, *P. huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn. Las observaciones en la morfología de algunas colecciones biológicas del Herbarium Amazonense (AMAZ) indican cierta sobreposición en algunos de los caracteres de estas especies, lo que podría dificultar su correcta determinación (Rodríguez *et al.*, 2010).

Según Mostacero *et al.* (2002), el Sacha Inchi se clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
Subreino	: Fanerogamas
División	: Angiospermae
Clase	: Dicotyledoneae
Sub clase	: Archichlamydeae
Orden	: Euphorbiales
Familia	: Euphorbiaceae
Sub familia	: Plukenetieae
Tribu	: Plukenetieae
Sub tribu	: Plukenetiinae
Género	: <i>Plukenetia</i>
Especie	: <i>volubilis</i>

Nombre científico: *Plukenetia volubilis* Linneo.

Nombre común : sachá inchi, maní del monte, maní del inca.

## Descripción morfológica.

### a. Tallo

Trepadora, voluble, semileñosa, de altura indeterminada (Juárez, 2007).

**b. Hojas**

Son alternas, de color verde oscuro, oval - elípticas, aseruladas y pinnitinervias, de 09 – 16 cm de largo y 06 – 10 cm ancho. El ápice es puntiagudo y la base es plana o semi-arriñonada (Manco, 2006).

**c. Flores**

Son hermafroditas, las flores masculinas, son pequeñas, redondas, blanquecinas y dispuestas en racimos. La flor femenina se encuentra en la base del racimo y ubicadas lateralmente de una a dos flores (Sánchez y Amiquero, 2004).

Cachique, (2006), indica que el cultivo presenta un alto porcentaje de polinización cruzada, lo cual implica que se trata de una especie alógama. El conocimiento del tipo de reproducción es de suma importancia para futuros trabajos de mejoramiento genético de la especie. En Sacha Inchi se observan 02 tipos de flores: masculinas: (pequeñas, blanquecinas, dispuestas en racimos) y femeninas (se encuentran en la base del racimo y ubicadas lateralmente de una a dos flores).

Se reporta en forma concisa la existencia de 23 anteras, conformada por cuatro tecas dehiscentes que protegen 8 granos de polen con dimensiones de 96 x 60  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, existe la predominancia de aproximadamente 200 botones por inflorescencia, disponiendo en su totalidad aproximadamente 147 200 granos de polen por cada inflorescencia, siendo numerosa las unidades que podrían estar presentes a nivel de una planta (Noriega *et al.*, 2010).

**d. Fruto**

Es una cápsula, de 3,5 a 4,5 cm. de diámetro, con 04 lóbulos aristados (tetralobados) dentro de los cuales se encuentran 4 semillas. Excepcionalmente, algunos ecotipos presentan cápsulas con 5 a 7 lóbulos. (Manco, 2006).

**e. Semilla**

Las semillas se encuentran dentro de las cápsulas y son de color marrón oscuro, en la mayoría de los ecotipos es ovalada, ligeramente abultadas en el centro y

aplastadas hacia el borde, según los ecotipos, el diámetro fluctúa entre 1.3 y 2.1 cm (Sánchez y Amiquero, 2004).

### 1.1.2. Requerimientos Edafoclimáticos

#### Clima

##### a. Temperatura

Crece y tiene buen comportamiento a diversas temperaturas que caracterizan a la Amazonía Peruana (mín. 10 °C y máx 36 °C). Las temperaturas muy altas son desfavorables y ocasionan la caída de flores y frutos pequeños, principalmente los recién formados (Manco, 2006). También menciona que efecto depresivo de las altas temperaturas en la producción se explica de dos maneras:

- La temperatura alta acelera la transpiración, causando el marchitamiento y el cierre de los estomas ocurriendo esto más pronto durante el día. Esto da por resultado una rápida reducción de la fotosíntesis.
- La temperatura alta también aumenta la velocidad de respiración y la alta intensidad respiratoria nocturna de las plantas, originando agotamiento de la reserva de carbohidratos. Al disminuir el proceso de fotosíntesis y al aumentar la velocidad de respiración, resulta una menor elaboración de carbohidratos para el crecimiento y almacenamiento.

##### b. Altitud

Se adapta desde los 100 a 2 000 msnm (Manco, 2006); registrándose así mismo las mejores semillas (> 12mm) a plantaciones establecidas desde los 600 m.s.n.m.m. Por su parte Arévalo, G. citada por Barrera R; O (2005) dice que el Sacha Inchi crece desde los 100 m.s.n.m. en la selva baja y 1 500 m.s.n.m.m. en la Selva Alta.

##### c. Agua

(Sánchez y Amiquero, 2004), menciona que la precipitación óptima es de 1000 a 1250 mm. Según (Semino *et al.*, 2008), las plantas de sachá inchi requiere poco riego suplementario.

El agua y nutrientes afectan la asimilación de carbono, y por lo tanto el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, a través de efectos en la tasa de fotosíntesis, área foliar y en la penetración de luz fotosintéticamente activa en el dosel (Long *et al.*, 2006).

La sequía natural es el principal factor en el crecimiento de las plantas que progresivamente limita y reduce rendimientos de semilla de forma inmediata y sucesiva en la temporada. Durante una estación seca reduce la tasa fotosintética en la hoja, producción de flores y frutos, y aumento de aborto frutos en plantas de *P. volubilis* así reduce el rendimiento de semilla (Jiao, *et al.*, 2012).

**d. Luz**

Requiere abundante luz para el proceso de fotosíntesis. A bajas intensidades de 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 (Manco, 2006).

**e. Humedad relativa**

Una alta humedad relativa con fuertes precipitaciones pluviales condiciona un desarrollo vigoroso de la planta, aunque puede resultar propicio para la proliferación de enfermedades (Figueroa, 1992). A una humedad relativa del 78% y una temperatura media de 26 °C, se observan plantas de "sacha inchi" prácticamente libres de enfermedades.

**Suelo**

**a. Textura**

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 suelos, pudiendo establecerse hasta en colinas. Sin embargo, es necesario resaltar que se deben distinguir los suelos que posibiliten el mejor desarrollo y productividad del "sacha inchi", de aquellos donde la planta apenas sobrevive (Arévalo, 1995).

Se adapta a tipos de suelo de distinta textura: arcillosos, francos y franco-arenosos (Castro, 2007).

**b. pH**

Tiene amplia adaptación a diferentes tipos de suelo; crece en suelos ácidos y con alta concentración de aluminio. Se deben elegir los suelos que posibiliten su mejor desarrollo y productividad (Manco, 2006).

Según Castro (2007), menciona que el rango de pH que se desarrolla el cultivo de sachá inchi está entre 4,5 y más de 6,5.

**c. 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, y ésta es importante para el desarrollo del cultivo (Manco, 2006).

**d. Fertilidad del suelo**

Manco (2006), menciona que 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.

La aireación insuficiente, compactación e inadecuada conservación del suelo, uso de tierras inapropiadas, excesiva acidez del suelo, alcalinidad, presencia de elementos esenciales o aplicación de una fertilización no adecuada, son condiciones adversas que se pueden presentar en los suelos cultivados con sachá inchi (Manco, 2006).

### 1.1.3. Fenología del cultivo

Manco (2006), menciona que el tiempo:

- **En almacigo:**
  - ✓ Periodo de latencia: 1 a 10 días después de la siembra en almacigo
  - ✓ Días a germinación: 11 a 14 d.d.a. (días después de almacigo).
  - ✓ Días a emergencia de hojas verdaderas:
    - 1er. par: entre 16 y 20 d.d.a.
    - 2do. par: entre 28 y 42 d.d.a.
    - 3er. par: entre 45 y 59 d.d.a.
- **Después del trasplante:**
  - ✓ Inicio de emisión de guía: Entre 20 y 41 d.d.t. (días después del trasplante).
  - ✓ Inicio de floración: entre 86 y 139 d.d.t.
  - ✓ Inicio de fructificación: entre 119 y 182 d.d.t.
  - ✓ Inicio de cosecha: entre 202 a 249 d.d.t.

## 1.2. Antecedentes de nutrición mineral

Según la FAO (2002), los nutrientes que necesitan las plantas se toman del aire y del suelo. Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos. Sequi & Piaggese (2004), sostienen que los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta.

### 1.2.1. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de Fertilización.

Según Bertsch (2003), los estudios de absorción contabilizan, de una forma u otra, la extracción o consumo de nutrientes de un cultivo para completar su ciclo de reproducción. Estos estudios no constituyen una herramienta de diagnóstico como el análisis foliar, sino más bien, contribuyen a dar solidez a los programas de

fertilización. Concretamente, permiten conocer la cantidad de nutriente que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado, en un tiempo definido.

Los datos provenientes de estos estudios constituyen una medida real, quizá lo más real, de la cantidad de nutrientes que consume un cultivo de la siembra a la cosecha y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir un determinado rendimiento.

### **Importancia de los elementos químicos en la fisiología de la planta.**

Las plantas viven en un ambiente iónico muy diluido donde logran nutrirse y por lo tanto sobrevivir, en virtud de la capacidad que tiene de acumular en su interior iones a concentraciones aun 10 000 veces superiores a las externas (Sequi & Piaggese, 2004). También mencionan que en el suelo las sustancias de bajo peso molecular (entre las cuales están los iones minerales nutritivos), gracias a la difusión y al flujo de masa, se hallan en continuo movimiento alcanzando, de esta manera, las raíces de las plantas.

Un elemento nutritivo mineral puede funcionar, además de como constituyente de una estructura orgánica, como activador de una reacción enzimática, transportador de carga, u osmo-regulador. Los micronutrientes como integrantes de muchas estructura enzimáticas, son capaces de catalizar la mayor parte de las reacciones típicas del metabolismo de la planta y por ende influenciar en la fisiología (Sequi & Piaggese, 2004).

Cada planta posee su mínimo, óptimo y máximo de tolerancia para cada uno de los citados elementos: por ello su disponibilidad puede ser anormal por defecto (deficiencia o carencia nutricional), o por exceso, verificándose en tal caso fenómenos de fitotoxicidad (intoxicación) (Sequi & Piaggese, 2004).

## 1.2.2. El Calcio, magnesio y azufre en el crecimiento de las plantas

### a. El calcio

Guerrero (2012), menciona que; este elemento es constituyente de las sales en la solución del suelo. El calcio es absorbido por las plantas en forma catiónica  $\text{Ca}^{++}$  y presenta poca movilidad dentro de la planta. Constituye un componente importante de la laminilla media de las células, asimismo regula la presión osmótica de las células. Es elemento clave en el crecimiento de los meristemos y en la absorción de nitratos, y está asociado con los procesos de maduración de frutos, además de ser esencial en preservar la vida de anaquel de los frutos.

García (2010), El Ca es un constituyente de la pared celular (función estructural). Regula la permeabilidad de las membranas. Es esencial para la elongación de las células en los puntos de crecimiento. El Ca cumple además funciones osmóticas.

El contenido de calcio en las plantas varía entre el 0,1 y el 5% de su peso seco, dependiendo: de la especie, del órgano y de las condiciones de crecimiento. Por otro lado, los niveles de  $\text{Ca}^{++}$ , libre en el citoplasma y en los cloroplastos deben ser muy bajos, para evitar la precipitación del fósforo inorgánico y la inactivación o activación incontrolada de ciertas enzimas como la fosfolipasa y la NAD-quinasa). Estos niveles de calcio celular se consiguen merced a membranas plasmáticas que actuarían de barrera frente a la penetración de iones  $\text{Ca}^{++}$  Dieter, (1984).

Otra de las funciones del calcio es generar estabilización de la pared y las membranas celulares mediante su interacción con el ácido péptico que está entre la pared celular y la lámina media. Esta reacción genera el pectato de calcio o pectinas, las cuales confieren estabilidad e integridad a la pared celular y, en general, a todos los tejidos de la planta (Salisbury y Ross, 2000) que a menudo son degradadas por la poligaracturonasa generando una desintegración de la pared celular. El calcio también inhibe drásticamente la acción de la poligaracturonasa, porque los niveles altos de calcio en el apoplasma de las células generan mayor proporción de pectatos y así mayor resistencia a la desintegración de las paredes (Marschner, 1986; Romeis *et al.*, 2001; García, 2001; Uhm *et al.*, 2002).

**b. El Magnesio**

Tisdale & Nelson (1982); El magnesio en el suelo se origina por la descomposición de rocas que contengan minerales como biotita, dolomita, clorita, serpentita y olivita. En la descomposición de estos minerales, el magnesio se desplaza libremente en las aguas que lo rodean.

El magnesio es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier cultivo, influenciando directamente su productividad. Es uno de los macronutrientes más exigidos en el metabolismo vegetal, llegando a representar hasta un 3% de la materia seca. Como elemento central de la molécula de clorofila, el magnesio está directamente ligado a la producción de energía, volviendo todas las demás funciones metabólicas dependientes de su actuación (Sequi, 2004).

Cakmak y Yazici, (2010); mencionan que el magnesio interviene en varias funciones vitales para la planta. Los procesos metabólicos y reacciones en las cuales interviene el Mg son: 1) Fotofosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), 2) fijación fotosintética del dióxido de carbono, 3) síntesis de proteínas, 4) formación de clorofila, 5) recarga del floema, 6) partición y asimilación de los productos de la fotosíntesis, 7) generación de las formas reactivas de oxígeno y 8) fotooxidación de los tejidos de las hojas. En consecuencia, varios procesos fisiológicos y bioquímicos críticos para la planta se alteran cuando existe deficiencia de Mg, afectando el crecimiento y el rendimiento de la planta. En la mayoría de los casos la intervención del magnesio en procesos metabólicos radica en la activación de numerosas enzimas. Una importante enzima activada por magnesio es ribulosa-1.5-bisfosfato (RuBP) carboxilasa, que es una enzima básica en el proceso de fotosíntesis y la enzima más abundante de la tierra. Se conoce desde hace mucho tiempo que el Mg tiene un papel esencial en la formación de la clorofila y la fotosíntesis. Sin embargo, creciente evidencia indica que órganos receptores (como las raíces en crecimiento y las semillas en desarrollo) se afectan severamente cuando existe deficiencia de Mg. El Mg ha sido un elemento olvidado en la producción de cultivos por demasiado tiempo, pero su papel vital en la nutrición vegetal es cada vez más reconocido (Cakmak y Yazici, 2010).

Belger, Fritz y Irschick, (1990), informan que el magnesio aumenta la resistencia de los vegetales a los factores ambientales adversos como sequía, enfermedades e infecciones, debido a su influencia positiva sobre el engrosamiento de las paredes y permeabilidad de las membranas celulares. Entre el magnesio y fosforo existe sinergismo que eleva notoriamente la asimilación del fosforo y facilita el transporte a la planta. También se conoce como una interrelación de Mg – K que por ejemplo hace aparecer deficiencia de K en la planta cuando en el suelo hay un exceso de Mg y viceversa.

QuimiNet, (2007), indica que el magnesio (Mg), como parte del grupo de nutrientes esenciales para las plantas, es el elemento constituyente principal de la molécula de clorofila, fundamental en la fotosíntesis. Importante en el llenado de granos y frutos, el magnesio favorece la absorción del fósforo, está muy asociado con el calcio y el potasio y participa como activador enzimático.

El magnesio es muy móvil en el suelo, llega hasta la raíz principalmente por difusión pero también por flujo en masa. La planta lo absorbe como (Mg<sup>2+</sup>). La cantidad de magnesio que se mueve por difusión está relacionada con la intensidad del elemento en la solución del suelo, con las propiedades físicas (textura, porosidad), temperatura, humedad del suelo, pH y la capacidad de intercambio catiónico (QuimiNet, 2007).

La asimilación del magnesio por las plantas también está influenciada por la concentración de otros nutrientes cationes como calcio y potasio. Es fundamental en un programa de fertilización; propiciar y conservar una adecuada relación calcio/magnesio, magnesio/potasio y calcio+magnesio/potasio. Estas relaciones contribuyen a un adecuado balance en el suelo para brindar un óptimo equilibrio nutricional a las plantas y por consiguiente excelentes producciones y calidades en las cosechas (Quiminet, 2007).

### **c. El Azufre**

El azufre, junto con el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio, es un macronutriente, es decir un nutriente que los cultivos requieren en mayor

proporción. Las necesidades de S son menores a las de N, K y Ca, pero son de la misma magnitud de P y Mg. Como sucede con cualquier nutriente esencial, la producción y la calidad de los cultivos pueden afectarse por la falta de S, aun cuando los demás nutrientes estén presentes en cantidades adecuadas en el suelo (Sabino, Lavres, y Ferreira, 2007)

Numerosos compuestos de la planta (aminoácidos, proteínas, enzimas, etc.) poseen N y S, lo que ayuda a explicar la existencia de una relación N/S que está asociada con el crecimiento y la producción. Las proteínas son los compuestos que más incorporan N y S y están constituidas principalmente por los aminoácidos cistina, cisteína y metionina. La cisteína está relacionada con el estado nutricional de las plantas y también actúa en la síntesis de importantes compuestos de defensa (glucosinolatos, GHS, fitoalexinas y posiblemente S<sup>o</sup>). Además de los aminoácidos y proteínas, el S es parte de una variedad de compuestos como coenzimas (biotina, pirofosfato de tiamina, coenzima A, ácido lipoíco), proteínas con hierro (Fe) y S (ferridoxinas), tioredoxinas, sulfolípidos, cisternas substituidas (Se-cisteínas), ésteres de sulfato (colina), flavonoides, lípidos, glucosinolatos, polisacáridos, sulfónicos y compuestos reducidos (Malavolta, 2006).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Ubicación del campo experimental**

El trabajo de investigación se desarrolló en el Centro Experimental Pucayacu del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Se encuentra ubicado en el Centro Poblado: Bello Horizonte, distrito de la Banda de Shilcayo, a 7 Km de la ciudad de Tarapoto.

✓ **Ubicación geográfica**

Longitud Oeste : 06° 31' 28"

Latitud Sur : 76° 17' 23"

Altitud : 320 msnm

✓ **Ubicación política**

Lugar : Bello Horizonte

Distrito : La Banda de Shilcayo

Provincia : San Martín

Región : San Martín

✓ **Zona de vida.**

El área donde se realizó el presente trabajo de investigación, está considerada como una zona de vida bosque seco tropical (Bs-T) ubicada en la Selva Alta del Perú (ONERN, 1992).

✓ **Condiciones climáticas**

Según los datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, el centro poblado menor Bello Horizonte, registran los siguientes datos climáticos de la zona.

**Tabla 1.****Datos climáticos de la zona donde se desarrolló el trabajo de investigación.**

Año	Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Precip (mm)	Humedad (%)	Velocidad viento (km/h)
2012	Octubre	26.40	25.87	58.90	80.43	2.25
	Noviembre	27.17	26.61	54.89	78.20	3.31
	Diciembre	26.63	26.11	122.34	79.91	3.40
2013	Enero	32.5	21.43	108.30	78.34	3.40
	Febrero	31.2	21.75	64.61	81.72	2.79
	Marzo	32.65	21.87	65.30	85.78	3.67
	Abril	31.98	21.87	89.90	88.91	3.21
	Mayo	33.02	22.03	78.80	80.45	0.00
	Junio	32.45	20.63	13.87	79.78	0.00
	Julio	24.18	23.60	35.79	80.67	1.40
	Agosto	25.80	25.15	31.45	77.00	1.92
	Setiembre	25.67	25.07	98.56	78.40	2.12

**Fuente: Estación Meteorológica Bello Horizonte – IIAP – SM. 2012 - 2013**

La Tabla 1, muestra que a lo largo del año la temperatura varía entre 20.63°C y 33.02°C, la precipitación entre 31.45 mm y 122.34 mm, la humedad entre 77 % y 88.91 %, y velocidad del viento entre 0.00 km/h y 3.40 km/h.

#### ✓ **Condiciones edáficas**

En el Centro Experimental Pucayacu, los suelos son de clase textural: Franco Arenoso y Arena Franca, con pH ácido en los 4 bloques (Bloque I = 4.71, II = 4.82, III = 5.30 y IV = 4.81), una pendiente ligeramente inclinada (4 – 8 %), nivel bajo en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 6.40 meq/100g), con un contenido bajo de nitrógeno y materia orgánica, bajo contenido de fósforo, potasio, calcio, magnesio y zinc, sin presencia de materiales calcáreos (CaCO<sub>3</sub>: 0.00%), baja saturación de bases, sin problemas de aluminio, sin presencia de sales y sodio, tal como lo detalla el siguiente análisis de suelo (Tabla N° 02).

**Tabla 2.**  
**Caracterización de suelos del campo experimental Pucayacu**

Solicitante : IIAP

Departamento: SAN MARTÍN

Distrito : BANDA DE SHILCAYO

Referencia : H.R. 37090-068C-12

Fact.: Pendiente

Provincia: TARAPOTO

Predio :

Fecha : 25/09/13

Número de Muestra		C.E.						Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves	pH	(1:1)	CaCO <sub>3</sub>	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textural	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	de	de	Sat. De	
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	Ppm	%	%	%		meq/100g					Cationes	Bases	Bases	
11700	B-I (B. Horizonte)	4.71	0.09	0.00	0.97	6.6	45	67	16	17	Fr.A.	6.40	2.77	0.57	0.23	0.10	0.30	3.97	3.67	57
11701	B-II (B. Horizonte)	4.82	0.04	0.00	0.90	2.9	18	75	14	11	Fr.A.	4.80	1.62	0.40	0.17	0.13	0.40	2.72	2.32	48
11702	B-III (B. Horizonte)	5.30	0.05	0.00	0.41	3.1	17	81	12	7	A.Fr.	3.20	1.39	0.23	0.16	0.11	0.30	2.20	1.90	59
11703	B-IV (B. Horizonte)	4.87	0.04	0.00	0.69	4.0	8	79	14	7	A.Fr.	3.20	1.19	0.22	0.14	0.10	0.30	1.94	1.64	51

**Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y plantas, Departamento de Suelos - Universidad Nacional Agraria La Molina**

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Diseño y características del experimento

- a. **Tipo y descripción del diseño de contrastación:** Se utilizó el Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA) (Tabla 3), el cual está constituido por cuatro repeticiones (cada repetición constituye un bloque) y tres tratamientos con aplicación a base de: 3 dosis de Nitrato de Amonio, 3 dosis de Superfosfato Triple y 3 dosis de Cloruro de Potasio. Se empleó la prueba de Duncan para la comparación entre los tratamientos. Se utilizó los programas estadísticos (SAS, EXCEL) para el procesamiento de los datos respectivos.

**Tabla 3.**

*Esquema de Análisis de Varianza.*

Fuentes de variación	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Fc
Tratamientos	t - 1	SC(Trat)	$\frac{SC(Trat)}{gl(Trat)}$	$\frac{CM(Trat)}{CM(Error)}$
Bloques	b - 1	SC(Bloques)	$\frac{SC(Bloques)}{gl(Error)}$	
Error experimental	(t - 1)(b - 1)	SC(Error)	$\frac{SC(Error)}{gl(Error)}$	
Total	tb - 1	SC(Total)		

**Tabla 4.**

*Valores esperados de los cuadrados medios.*

Fuentes de variación	Grados de libertad (gl)	Valores esperados de los cuadrados medios	
		Modelo I	Modelo II
Tratamientos	t - 1	$\sigma^2 + b \sum_{i=1}^t \frac{Ti^2}{t-1}$	$\sigma^2 + b \sigma_t^2$
Bloques	b - 1	$\sigma^2 + t \sum_{i=1}^b \frac{\beta i^2}{b-1}$	$\sigma^2 + t \sigma_\beta^2$
Error experimental	(t - 1)(b - 1)	$\sigma^2$	$\sigma^2$
Total	tb - 1		

Estadística de prueba:

$$F_c = \frac{SC(Trat)}{gl(Error)} F_{(gl(Tart), gl(Error))}$$

Regla de Decisión: la hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación  $\alpha$  si el  $F_c$  resulta mayor que el de la tabla  $F_{(gl(Tart), gl(Error))}$ .

#### b. Unidad de análisis, universo y muestra

- **Unidad de análisis:** 1 planta/etapa fenológica/tratamiento (t).
- **Universo:** parcelas instaladas con el cultivo de sachá inchi con un número de plantas de 280.
- **Muestra:** 48 plantas de sachá inchi evaluadas durante la duración del proyecto ejecutado.

#### 2.2.2 Fuentes de fertilizantes:

Se utilizó como fuente de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, al Nitrato de Amonio, Superfosfato Triple y Cloruro de Potasio, respectivamente.

#### 2.2.3 Tratamientos estudiados

- El cultivo evaluado es el “sachá inchi”
- Dosis de fertilización aplicada (kg/ha):

**Tabla 5.**

*Dosis de fertilización. Cantidades Expresadas en Kg Hectárea<sup>-1</sup>*

Tratamientos	Nutrientes		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
T <sub>1</sub>	16	23	21
T <sub>2</sub>	8	12	11
T <sub>3</sub>	23	35	30

Se designó al T1 las dosis de: 16 kg N ha<sup>-1</sup>, 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 21 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, por ser las dosis que es recomendada y empleada empíricamente por los productores. Para el resto de tratamientos se utilizó; el 50% menos (T2) y el 50% más (T3).

Las dosis de fertilización, las cuales fueron aplicadas en dos momentos: el primero 15 días antes del primer muestreo y el segundo 7 días después del segundo muestreo, pero en esta oportunidad solo se aplicó la ¼ parte de cada una de las dosis a aplicar. Los tratamientos fueron asignados de forma aleatoria dentro de cada bloque, cuyo resultado es el siguiente:

**Tabla 6.**  
**Distribución de los tratamientos estudiados.**

BLOQUES	TRATAMIENTOS		
<b>I</b>	T3	T1	T2
<b>II</b>	T1	T3	T2
<b>III</b>	T1	T2	T3
<b>IV</b>	T3	T1	T2

Las dosis de fertilización aplicadas fueron: 41 – 20.5 – 61.5 g de Nitrato de Amonio planta<sup>-1</sup>, 45 - 22.5 - 67.5 g de Superfosfato Triple planta<sup>-1</sup> y 30 - 15 - 45 g de Cloruro de Potasio planta<sup>-1</sup> según el tratamiento (Establecido por el IIAP - SM).

- Etapas fenológicas muestreadas:

Se tomaron muestras de Biomasa en las etapas mencionadas a continuación:

1. Crecimiento Vegetativo: se muestreo a los 75 días después de la siembra, evaluándose 12 plantas.
2. Floración: se muestreo a los 112 días después de la siembra, evaluándose 12 plantas.
3. Cuajado y llenado del fruto: se muestreo a los 150 días después de la siembra, evaluándose 12 plantas.

4. Cosecha: se muestreo a los 225 días después de la siembra, evaluándose 12 plantas.

**a. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se empezó por la colecta de semillas del cultivo, habiéndose utilizado el ecotipo Misquiyacu, este ecotipo es adaptado a la zona y tiene resistencia al ataque de enfermedades del cultivo.

Se realizó un análisis de suelos de cada una de las parcelas. La toma de muestras de las plantas se realizó a los 75 –112 –150–225 (d.d.s.) en cada tratamiento para su análisis nutricional en laboratorio.

La metodología para el muestreo de tejidos se realizó según Bertsch (1993) y Sancho (1999):

1. Se seleccionó el cultivar en estudio (sin mezclar plantas genéticamente diferentes en una misma curva).
2. Se seleccionó plantas para el muestreo secuencial de biomasa. desarrolladas en condiciones ideales de suelo y manejo similares.
3. Se definió las etapas fenológicas más importantes del ciclo de cultivo determinadas en días después de la siembra o trasplante.
4. Se Tomó un mínimo de tres muestras en cada etapa fenológica previamente determinada.
5. Se dividió las plantas muestreadas en sus diferentes tejidos morfológicos (raíz, tallo, hojas, frutos).
6. Se realizó la medición del peso fresco de las muestras y se envió al laboratorio para la determinación de peso seco, humedad y contenido de nutrientes.
7. Se Calculó el peso seco promedio y el contenido promedio de nutrientes de las plantas muestreadas y determinó la cantidad de biomasa acumulada y las cantidades de nutrientes extraídos por el cultivo en gramos por planta. Conociendo la población por área se pudo calcular la extracción en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

8. Se Graficó la curva de crecimiento (materia seca acumulada en cada estado de muestreo) y la curva de absorción (cantidades extraídas de cada elemento en cada estado de muestreo).

El estudio permitió calcular la cantidad de nutrientes extraídos en kg/ha, en un tiempo determinado y en base a los kilogramos de producción. Para la toma de datos se empleó hojas de registro, el análisis nutricional se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

**b. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos**

Para determinar absorción de calcio, magnesio y azufre, se realizó el análisis en laboratorio de la planta en cada etapa fenológica por cada tratamiento. La técnica empleada para determinar la absorción de calcio y magnesio fue la técnica de Absorción Atómica por llama. En tanto se utilizó para determinar la absorción Azufre el método Gravimétrico. Los resultados obtenidos fueron procesados para obtener la cantidad de nutriente extraído por la planta durante su fenología. Para determinar la etapa de mayor absorción y la elaboración de las curva de absorción se empleó los datos obtenidos en laboratorio en interacción con la etapa fenológica del cultivo. Se utilizó programas estadísticos (SAS, EXCEL) para el procesamiento de los datos respectivos y estos fueron procesados mediante un análisis de varianza y sometidos a una prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5 % para ver las diferencias entre los tratamientos

El área foliar se determinó con la ayuda de un papel milimetrado, se extrajo hojas de la parte superior, media y basal de la planta las cuales fueron pesadas y posteriormente dibujadas en el papel milimetrado; para calcular el área foliar total se realizó una relación entre el peso foliar total con el peso y el área obtenida de las hojas dibujadas. Para calcular la materia seca, se pesó inicialmente el peso fresco total, luego las muestras de tejidos fueron sometidos a la estufa a una Temperatura de 72°C por cuatro días, luego del cual se pesó nuevamente las muestras.

#### **2.2.4 Variables evaluadas**

##### **a. Análisis de tejido vegetal**

Los análisis de tejido vegetal se realizó a los 75 – 112 – 150 – 225 días después del trasplante, donde se determinó la cantidad de elementos extraídos del suelo, se analizó lo siguiente:

- Raíz
- Tallo
- Hoja
- Frutos

##### **b. Ciclo fenológico del cultivo**

Se realizó también en 4 estados fenológicos del cultivo de sacha inchi (crecimiento vegetativo, floración, cuajado – llenado de frutos y cosecha), de acuerdo a los días trabajados en el cronograma de actividades para ver en cuál de los ciclos extrajo más nutrientes el cultivo y de allí se creó la curva de absorción.

##### **c. Tasa de crecimiento de hojas (área foliar)**

A medida que la planta fue creciendo las hojas fueron ganando cobertura, la cual se evaluó en papel milimetrado, se midió el largo y ancho de la hoja para poder calcular el área foliar de cada planta evaluada.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1.1 Resultados

##### 3.1.1 Curva de crecimiento en función del área foliar del cultivo.

*Tabla 7.*

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en el área foliar del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
						0.05			
Tratamientos	2	11086.75	5543.38	2.57*	0.1564	284287.589	142143.794	1.40*	0.3176
Bloques	3	192050.57	64016.86	29.66	0.0005	4104768.020	1368256.007	13.45	0.0045
Error	6	12950.82	2158.47			610449.707	101741.618		
Total	11	216088.14				4999505.315			
		<b>R2 = 94 %</b>		<b>CV = 18.99 %</b>		<b>R2 = 87.7 %</b>		<b>CV = 24.20 %</b>	
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
						0.05			
Tratamientos	2	33034490.82	16517245.41	8.32*	0.0186	145251778	72625889.2	7.06*	0.027
Bloques	3	69950372.29	23316790.76	11.74	0.0064	220812512	73604170.7	7.16	0.021
Error	6	11916481.4	1986080.2			61693848.1	10282308		
Total	11	114901344.5				427758139			
		<b>R2 = 89.6 %</b>		<b>CV = 22.63 %</b>		<b>R2 = 85.6 %</b>		<b>CV = 21.06 %</b>	

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativo.

Según el análisis de varianza los tratamientos en estudio tienen efectos estadísticamente significativos en el área foliar del cultivo tanto a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra (DDS) (Tabla 07).

Tabla 8.

*Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en el área foliar del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

75 DDS			112 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	266.83	A	T3	1534.4	A
T1	265.50	A	T2	1225.4	A
T2	201.70	A	T1	1192.9	A
150 DDS			225 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	8538.0	A	T3	20014	A
T1	5425.3	B	T1	13830	B
T2	4718.6	B	T2	11844	B

DDS: días después de la siembra.

La prueba de significación Duncan al 5 % de probabilidades indica que a los 75 y 112 DDS, los tratamientos no difieren significativamente. La mejor producción de área foliar lo obtuvo el T3 con una media 266.83 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> a los 75 DDS y una media de 15.34 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> a los 112 DDS. Asimismo, a los 150 y 225 DDS la prueba de Duncan al 5 %, nos indica que el tratamiento T3 difiere significativamente con los T1 y T2, presentando una media de 8538.0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> a los 150 DDS y una media de 20014 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> a los 225 DDS. Los tratamientos T1 y T2, no difieren significativamente (Tabla 08).

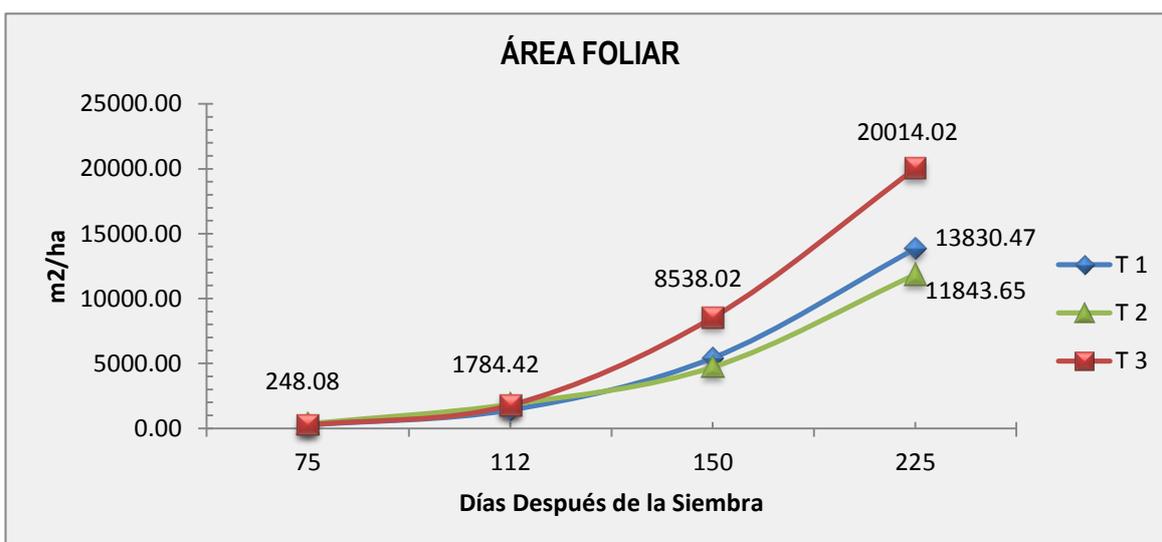


Figura 1. Curva de Crecimiento en Área Foliar del Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 1 muestra que es el tratamiento T3 adquirió una mayor área foliar que es igual a 20 014.02 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en un tiempo de 225 DDS. El Tratamiento T1 produjo un área foliar igual a 13830.47 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T2 un área foliar igual a 11843.65 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>.

### 3.1.2 Curva de Producción de Materia Seca del Cultivo

**Tabla 9.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la materia seca del cultivo de sacha inchi registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	1.232	0.616	0.07 ns	0.935	3136.84	1568.42	0.32 ns	0.739
Bloques	3	762.192	254.064	27.89	0.0006	291968.73	97322.91	19.71	0.0016
Error	6	54.657	9.11			29624.10	4937.35		
Total	11	818.082				324729.67			
		<b>R<sup>2</sup> = 93.3 % CV = 18.75 %</b>				<b>R<sup>2</sup> = 90.8 % CV = 23.18 %</b>			
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	1176975.99	588487.99	3.77 *	0.0872	5535767.94	2767883.97	9.04*	0.0155
Bloques	3	10280134.84	3426711.61	21.93	0.0012	14557400.51	4852466.84	15.84	0.0029
Error	6	937596.41	156266.07			1838105.45	306350.91		
Total	11	12394707.23				21931273.9			
		<b>R<sup>2</sup> = 92.4 % CV = 22.58 %</b>				<b>R<sup>2</sup> = 92.4 % CV = 15.03 %</b>			

DDS: días después de la siembra.

\* Estadísticamente significativo

ns: No significativo.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 09, nos proporciona la información de que los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en el contenido de materia seca a los 75 y 112 DDS. Por otro lado, nos indica que a los 150 y 225 DDS los tratamientos difieren significativamente en el contenido de materia seca del cultivo.

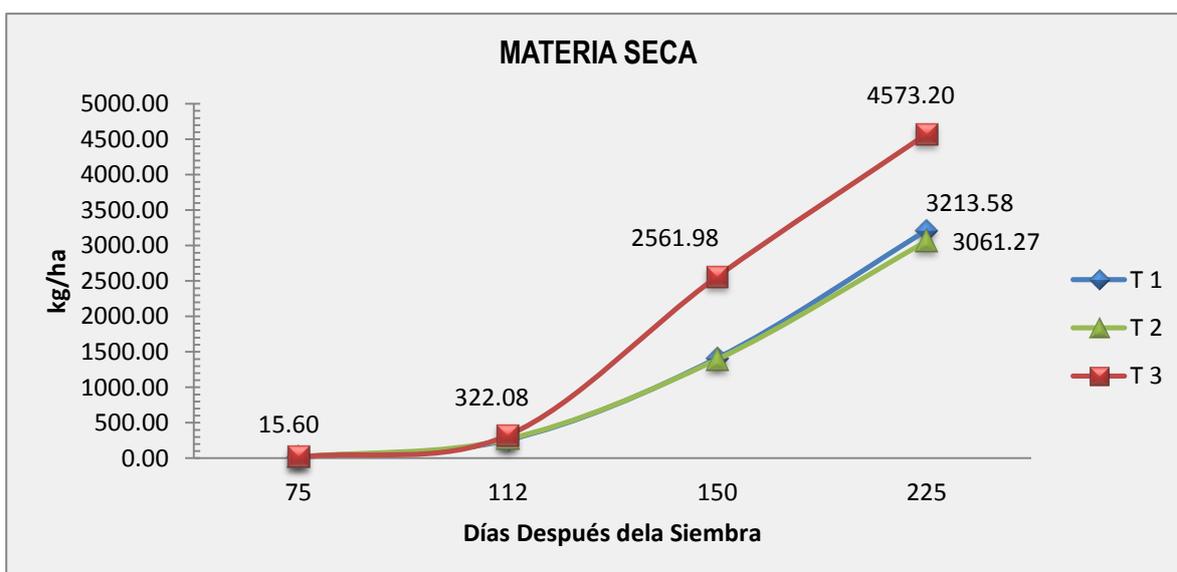
**Tabla 10.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la materia seca del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.**

Tratamientos	150 DDS		225 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	2185.7	A	T3	4639.1	A
T2	1602.7	AB	T1	3278.6	B
T1	1462.5	B	T2	3129.5	B

DDS: días después de la siembra.

Según la prueba de Duncan al 5% a los 150 DDS los tratamientos T3 y T2 presentan diferencias significativas, el tratamiento T3 y T1 difieren significativamente, entre los tratamientos T2 y T1 no existen diferencias significativas. La mayor producción de materia seca se presenta en el tratamiento T3 con una media de 2185.7 kg ha<sup>-1</sup>. Duncan al 5 % a los 225 DDS, muestra que el tratamiento T3 difiere significativamente con los tratamientos T1 y T2 y que es el tratamiento T3 en el cual se ha obtenido la mayor producción de materia seca con una media de 4639.1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos T1 y T2, no difieren significativamente (Tabla 10).

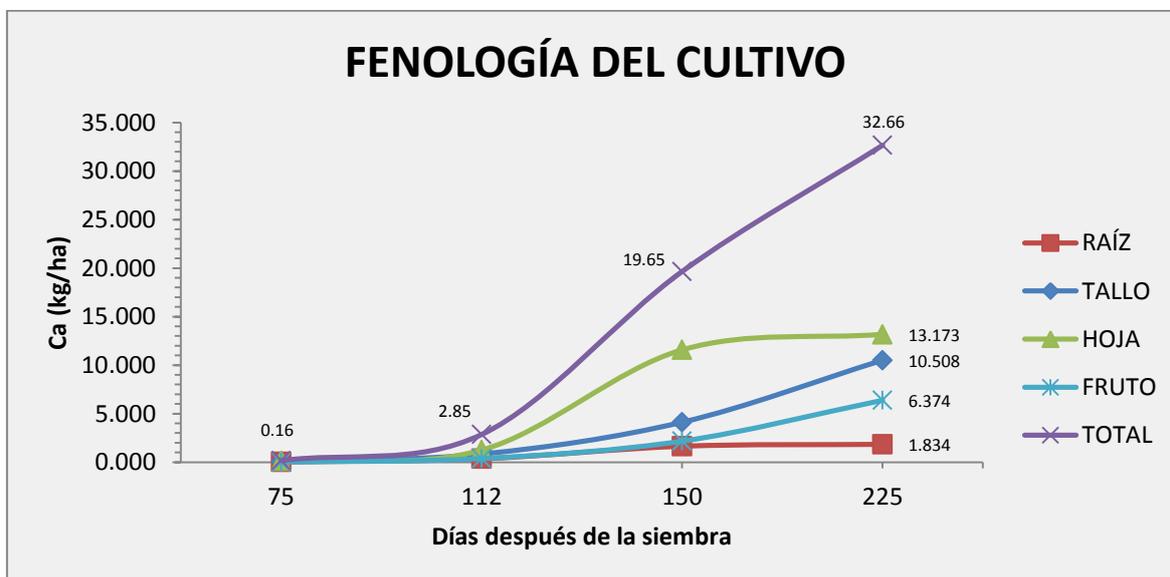


**Figura 2.** Curva de crecimiento en materia seca del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

### 3.1.3 Absorción de Nutrientes

#### CALCIO (Ca)

##### A. Curva de crecimiento del cultivo



**Figura 3.** Curva de crecimiento para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

En campo se observó que las etapas fenológicas (Figura 3) del cultivo sucedieron durante los siguientes días: crecimiento vegetativo hasta los 112 días después de la siembra (DDS), inicio de guiado después de los 75 DDS, la floración se inicia a los 112 DDS, la fructificación a los 120 DDS, el llenado de frutos a los 150 DDS y la primera cosecha se inicia a los 225 DDS.

A los 225 DDS la concentración total de calcio es  $32.66 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . La hoja es el órgano de la planta donde hay una mayor concentración de Ca igual a  $13.173 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ , en el tallo es  $10.508 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ , en el fruto es  $6.374 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y en la raíz  $1.834 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Figura 3).

## B. Absorción de Calcio en la raíz

**Tabla 11.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la raíz del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
						0.05			
Tratamientos	2	0.000137	0.000068	4.35 *	0.068	0.038	0.0192	5.09*	0.051
Bloques	3	0.000958	0.00032	20.34	0.0015	0.155	0.0516	13.66	0.0043
Error	6	0.000094	0.000016			0.023	0.0038		
Total	11	0.00119				0.216			
		$R^2 = 92\%$		CV = 19.09 %		$R^2 = 89.3\%$		CV = 19.47 %	
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
						0.05			
Tratamientos	2	0.0275	0.0138	1.14*	0.382	0.565	0.2825	2.22*	0.19
Bloques	3	0.0192	0.0064	0.53	0.679	1.1996	0.3999	3.14	0.108
Error	6	0.0728	0.0121			0.764	0.127		
Total	11	0.1195				2.529			
		$R^2 = 39\%$		CV = 20.82 %		$R^2 = 69\%$		CV = 23.32 %	

**DDS:** días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativo.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 11, muestra que tanto a los 75, 112, 150 y 225 DDS los tratamientos presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de calcio en la raíz del cultivo.

Tabla 12.

Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.

75 DDS			112 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.026	A	T3	0.394	A
T2	0.019	AB	T1	0.291	AB
T1	0.018	B	T2	0.262	B
150 DDS			225 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.59	A	T3	1.83	A
T2	0.52	A	T2	1.41	A
T1	0.47	A	T1	1.34	A

DDS: días después de la siembra.

Según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 75 DDS el tratamiento T3 es el mayor concentración de Ca presenta, no difiere con el tratamiento T2, pero si con el tratamiento T1. A los 112 DDS el tratamiento T3 es el mayor concentración de Ca presenta, no difiere con el tratamiento T1, pero si con el tratamiento T2. A los 150 y 225 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento T3 en el cual existe una mayor acumulación de Ca (Tabla 12).

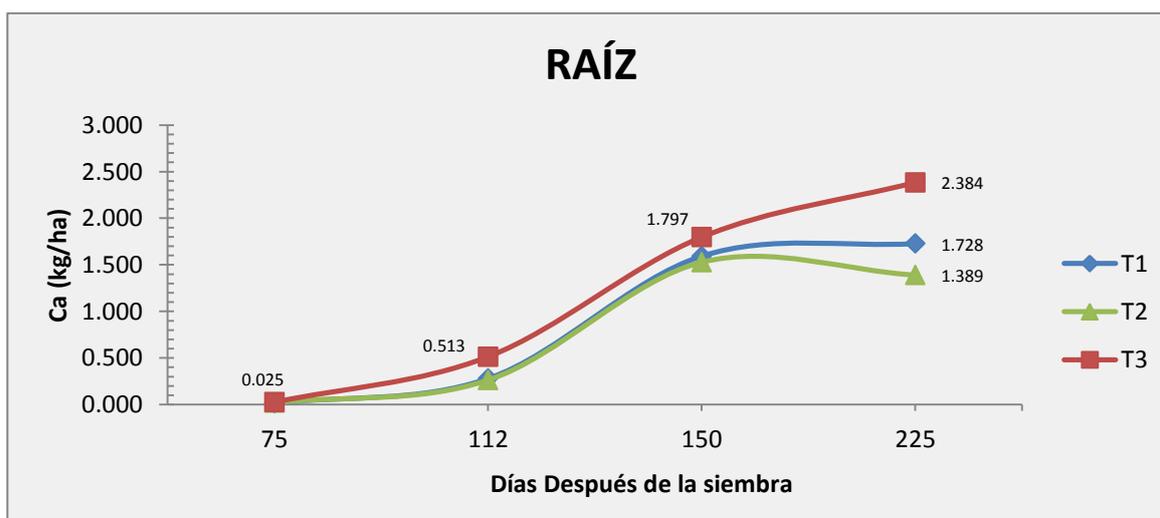


Figura 4. Curva absorción de Ca en la raíz para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 4 muestra el contenido de calcio en la raíz, el cual ha sido obtenido multiplicando el Ca en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en la raíz de la planta. Es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración a lo largo de todo el ciclo, en el cual se dio una acumulación de  $0.025 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.93%, MS:  $2.67 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de  $0.513 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 1.33%, MS:  $38.52 \text{ kg ha}^{-1}$ ), los 150 DDS la acumulación fue de  $1.797 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 1.11%, MS:  $162.29 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T3 presenta una concentración igual a  $2.384 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.83%, MS:  $287.48 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $1.728 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $1.389 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ .

### C. Absorción de Calcio en el tallo

**Tabla 13.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el tallo del cultivo de sacha inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	G L	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.0000032	0.0000016	0.07 ns	0.9327	0.0495	0.0248	0.61 *	0.5723
Bloques	3	0.001868	0.000623	27.70	0.0007	2.147	0.716	17.73	0.0022
Error	6	0.000135	0.0000225			0.242	0.0404		
Total	11	0.0020057				2.439			
		R <sup>2</sup> = 93.2 % CV = 21.71 %				R <sup>2</sup> = 90 % CV = 23.63 %			
FV	G L	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.0189	0.0094	0.31 ns	0.7479	65.772	32.886	5.17 *	0.0494
Bloques	3	0.808	0.269	8.70	0.0133	127.678	42.559	6.70	0.0242
Error	6	0.186	0.031			38.132	6.36		
Total	11	1.0126				231.582			
		R <sup>2</sup> = 81.6 % CV = 22.42 %				R <sup>2</sup> = 83.5 % CV = 23.65 %			

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 13, muestra que a los 75 y 150 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de calcio en el tallo, en cambio a los 112 y 225 DDS nos indica que los tratamientos difieren significativamente en la concentración de calcio en el tallo del cultivo.

**Tabla 14.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 225 días después de la siembra.**

Tratamientos	112 DDS		225 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.94	A	T3	13.68	A
T2	0.82	A	T2	10.32	AB
T1	0.79	A	T1	7.98	B

DDS: días después de la siembra.

La prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración de calcio. A los 225 DDS es el tratamiento T3 quien presenta una mejor concentración de Ca, no difiere significativamente con el tratamientos T2, pero si con el tratamiento T1. Los tratamientos T1 y T2 no presentan diferencias significativas (Tabla 14).



**Figura 5.** Curva de absorción de Ca en el tallo para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 5 muestra el contenido de calcio en el tallo, el cual ha sido obtenido multiplicando el Ca en % por la cantidad de materia seca (MS) en kg ha<sup>-1</sup> producido en el tallo de la planta. Es el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración a lo largo del ciclo, en el cual se dio una acumulación de 0.024 kg Ca ha<sup>-1</sup> (Ca: 0.52%, MS: 4.64 kg ha<sup>-1</sup>) a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de 0.955 kg Ca ha<sup>-1</sup> (Ca: 0.75%, MS: 126.85 kg ha<sup>-1</sup>), a los 150 DDS se dio una acumulación de 5.53 kg Ca ha<sup>-1</sup> (Ca: 0.83%, MS: 670.34 kg ha<sup>-1</sup>). A los 225 DDS el tratamiento T3 presenta una mayor concentración igual a 13.647 kg Ca ha<sup>-1</sup> (Ca: 0.68%, MS: 2021.76 kg ha<sup>-1</sup>), el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a 10.051 kg Ca ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T1 presenta una acumulación de 7.825 kg Ca ha<sup>-1</sup>.

#### D. Absorción de Calcio en la hoja

**Tabla 15.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	0.0000465	0.000023	0.05 ns	0.9527	0.0812	0.0406	0.66*	0.5519
Bloques	3	0.0381	0.0127	26.67	0.0007	5.525	1.842	29.81	0.0005
Error	6	0.00286	0.00048			0.371	0.0618		
Total	11	0.041				5.977			
		R <sup>2</sup> = 93 % CV = 19.02 %				R <sup>2</sup> = 93.7% CV = 20.72 %			
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	0.0519	0.02599	0.63*	0.5666	93.697	46.8487	26.63*	0.0010
Bloques	3	2.2467	0.7489	18.02	0.0021	464.0987	154.6996	87.95	<.0001
Error	6	0.249	0.0416			10.554	1.759		
Total	11	2.548				568.35			
		R <sup>2</sup> = 90.2 % CV = 16.59 %				R <sup>2</sup> = 98.1% CV = 9.72 %			

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 15, muestra que a los 75 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de calcio en la hoja. A los 112, 150 y 225 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de calcio en la hoja del cultivo.

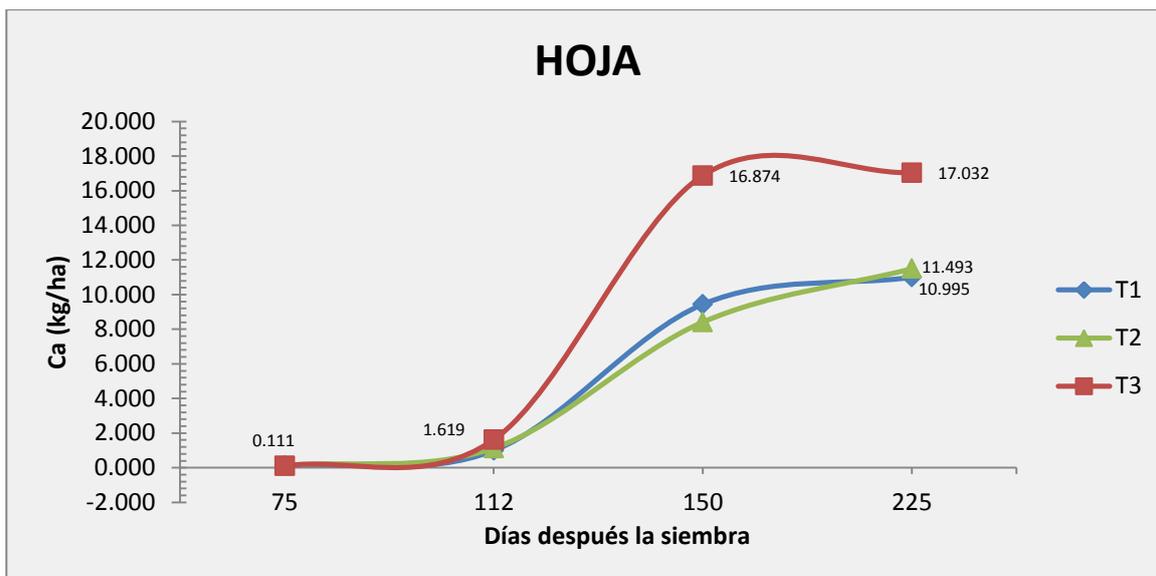
**Tabla 16.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en la hoja del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.**

112 DDS			150 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	1.297	A	T1	1.289	A
T2	1.205	A	T3	1.262	A
T1	1.096	A	T2	1.137	A
225 DDS					
Tratamientos	Promedio	Significación			
T3	17.54	A			
T2	12.21	B			
T1	11.15	B			

**DDS:** días después de la siembra.

En la Tabla 16 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112 y 150 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativamente, el tratamiento T3 es el que presenta una mayor concentración de calcio a los 112 DDS y el tratamiento T1 presenta una mayor concentración de calcio a los 150 DDS. A los 225 DDS el tratamiento T3 presentan diferencias estadísticas significativas frente a los tratamientos T1 y T2, siendo el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración de calcio, los tratamientos T2 y T1 no presentan diferencias significativas.



**Figura 6.** Curva de absorción de Ca en la hoja para el sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 6 muestra el contenido de calcio en la hoja, el cual ha sido obtenido multiplicando el calcio en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en la hoja de la planta. A los 75 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración, en el cual se dio una acumulación de  $0.123 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 1.21%, MS:  $10.20 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 112 DDS fue en el tratamiento T3 en donde se dio una mayor una acumulación siendo igual a  $1.619 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.56%, MS:  $83.77 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 150 y 225 DDS el tratamiento T3 concentro la mayor acumulación siendo igual a  $16.874 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 2.15%, MS:  $784.36 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a los 150 DDS y a los 225 DDS el dado una concentración igual a  $17.032 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.41%, MS:  $851.61 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a  $11.493 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y el tratamiento T1 presenta una acumulación de  $10.995 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ .

## E. Absorción de Calcio en el fruto

**Tabla 17.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el fruto del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					<b>0.05</b>				<b>0.05</b>
<b>Tratamientos</b>	2	0.00401	0.00201	0.28 ns	0.7626	0.1132	0.0566	5.93*	0.0379
<b>Bloques</b>	3	1.025	0.3418	48.28	0.0001	0.8186	0.2729	28.60	0.0006
<b>Error</b>	6	0.0425	0.0070			0.057	0.0095		
<b>Total</b>	11	1.0717				0.989			
		<b>R<sup>2</sup> = 96 % CV = 21.86 %</b>				<b>R<sup>2</sup> = 94.2 % CV = 22.41 %</b>			
225 DDS									
FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular				
					<b>0.05</b>				
<b>Tratamientos</b>	2	12.523	6.26149	2.27*	0.1845				
<b>Bloques</b>	3	88.596	29.532	10.70	0.0080				
<b>Error</b>	6	16.55	2.759						
<b>Total</b>	11	117.67							
		<b>R<sup>2</sup> = 85.9 % CV = 23.51 %</b>							

**DDS:** días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 17, muestra que a los 112 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas. A los 150 y 225 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de calcio en el fruto del cultivo.

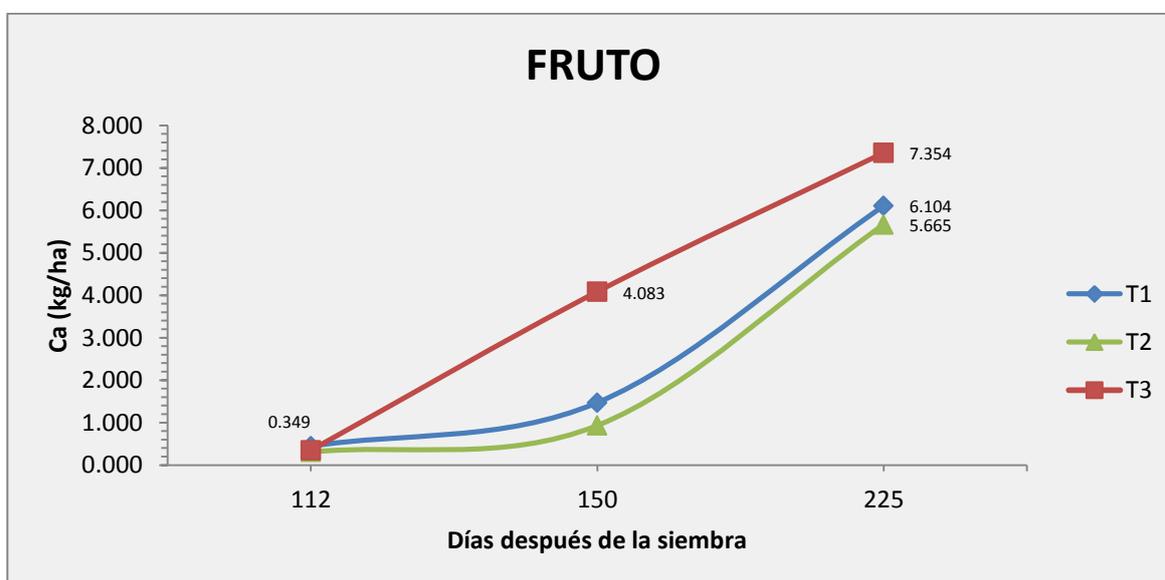
**Tabla 18.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Ca en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.**

Tratamientos	150 DDS		225 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.548	A	T3	8.41	A
T1	0.449	AB	T1	6.86	A
T2	0.311	B	T2	5.93	A

**DDS:** días después de la siembra.

En la Tabla 18 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 150 DDS, los tratamientos T3 y T1 no presentan diferencias estadísticas significativamente, el tratamiento T3 es el que presenta una mayor concentración de calcio, los tratamientos T1 y T2 no difieren significativamente. Duncan al 5% establece que a los 225 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas. Es el tratamiento T3 en el cual ocurre una mayor concentración de calcio.

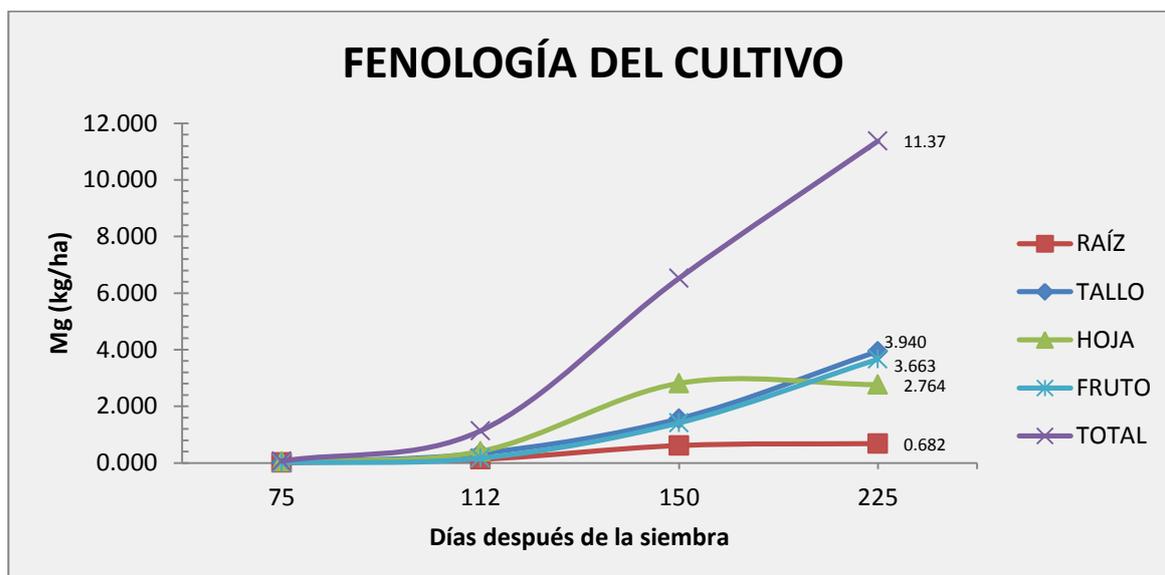


**Figura 7.** Curva de absorción de Ca en el fruto para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 7 muestra el contenido de calcio en el fruto, el cual ha sido obtenido multiplicando el Ca en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en el fruto de la planta. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración, en el cual se dio una acumulación de  $0.444 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.55%, MS:  $81.06 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $4.083 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.43%, MS:  $948.59 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $7.354 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  (Ca: 0.51%, MS:  $1440.17 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $6.104 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $5.665 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ .

## MAGNESIO (Mg)

### A. Curva de crecimiento del cultivo



**Figura 8.** Curva de crecimiento para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

En campo se observó que las etapas fenológicas (Figura 8) del cultivo sucedieron durante los siguientes días: crecimiento vegetativo hasta los 112 días después de la siembra (DDS), inicio de guiado después de los 75 DDS, la floración se inicia a los 112 DDS, la fructificación a los 120 DDS, el llenado de frutos a los 150 DDS y la primera cosecha se inicia a los 225 DDS. A los 225 DDS la concentración total de magnesio es  $11.37 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ . El tallo es el órgano de la planta donde hay una mayor concentración de Mg igual a

3.94 kg Mg ha<sup>-1</sup>, en el fruto es 3.663 kg Mg ha<sup>-1</sup>, en la hoja es 2.764 kg Mg ha<sup>-1</sup> y en la raíz 0.682 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 8).

## B. Absorción de Magnesio en la raíz

**Tabla 19.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					0.05				0.05
Tratamientos	2	0.00000217	0.00000108	0.52 ns	0.6191	0.00235	0.00117	1.51*	0.2936
Bloques	3	0.00008425	0.00002808	13.48	0.0045	0.0135	0.00451	5.81	0.0330
Error	6	0.00001250	0.00000208			0.00466	0.000776		
Total	11	0.00009892				0.02053			
		R <sup>2</sup> = 87.3 % CV = 19.034 %				R <sup>2</sup> = 77.2 % CV = 22.61 %			
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					0.05				0.05
Tratamientos	2	0.0019	0.00095	0.92*	0.4487	0.0788	0.0394	2.22	0.1895
Bloques	3	0.00403	0.00134	1.30	0.3582	0.0562	0.0187	1.06	0.4344
Error	6	0.00621	0.00103			0.106	0.018		
Total	11	0.0121				0.241			
		R <sup>2</sup> = 49 % CV = 16.83 %				R <sup>2</sup> = 56 % CV = 23.82 %			

**DDS:** días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativo.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 19, muestra que a los 75 DDS nos indica que los tratamientos no difieren significativamente en la concentración de magnesio en la raíz del cultivo. A los 112, 150 y 225 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de magnesio en la raíz.

Tabla 20.

Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.

112 DDS		150 DDS			
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.14	A	T3	0.205	A
T1	0.12	A	T1	0.195	A
T2	0.11	A	T2	0.174	A
225 DDS					
Tratamientos	Promedio	Significación			
T3	0.67	A			
T1	0.53	A			
T2	0.48	A			

DDS: días después de la siembra.

Según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112, 150 y 225 DDS los tratamientos no difieren estadísticamente en la concentración de magnesio en la raíz. Es el tratamiento T3 es el que presenta una mayor concentración de magnesio en todos los casos (Tabla 20).

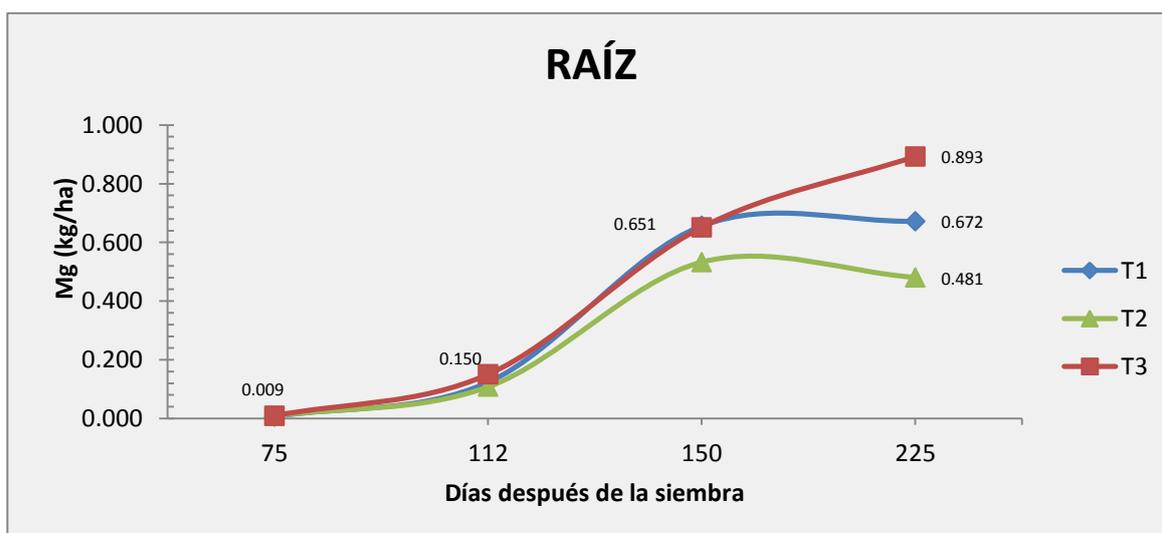


Figura 9. Curva absorción de Mg en la raíz para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 9 muestra el contenido de magnesio en la raíz, el cual ha sido obtenido multiplicando el Mg en % por la cantidad de materia seca (MS) en kg ha<sup>-1</sup> producido en la raíz de la planta. Es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración a lo largo del ciclo, en el cual se dio una acumulación de 0.009 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.35%, MS: 2.67 kg ha<sup>-1</sup>) a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de 0.150 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.39%, MS: 38.52 kg ha<sup>-1</sup>). A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T1 con una acumulación de 0.656 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.43 %, MS: 153.90 kg ha<sup>-1</sup>). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 0.893 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.31%, MS: 287.48 kg ha<sup>-1</sup>), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a 672 kg Mg ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 0.481 kg Mg ha<sup>-1</sup>.

### C. Absorción de Magnesio en el tallo

**Tabla 21.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el tallo del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.000018 2	0.000009 1	0.45 ns	0.6548	0.00593	0.00296	0.49 ns	0.6367
Bloques	3	0.00176	0.000587 9	29.44	0.0005	0.337	0.1124	18.49	0.0020
Error	6	0.000119 8	0.000019 9			0.036	0.0061		
Total	11	0.001901 7				0.379			
		R <sup>2</sup> = 93.5 % CV = 20.47 %				R <sup>2</sup> = 90.4% CV = 22.71%			
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.00119	0.000593	0.15 ns	0.8657	5.2603	2.630	5.50*	0.0440
Bloques	3	0.1195	0.0398	9.93	0.0096	8.0757	2.6919	5.63	0.0354
Error	6	0.0241	0.004			2.87	0.479		
Total	11	0.1447				16.207			
		R <sup>2</sup> = 83.4% CV = 20.42 %				R <sup>2</sup> = 82.2 % CV = 18.51 %			

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 21, muestra que a los 75, 112 y 150 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de magnesio en el tallo, en cambio a los 225 DDS nos indica que los tratamientos difieren significativamente en la concentración de magnesio en el tallo del cultivo.

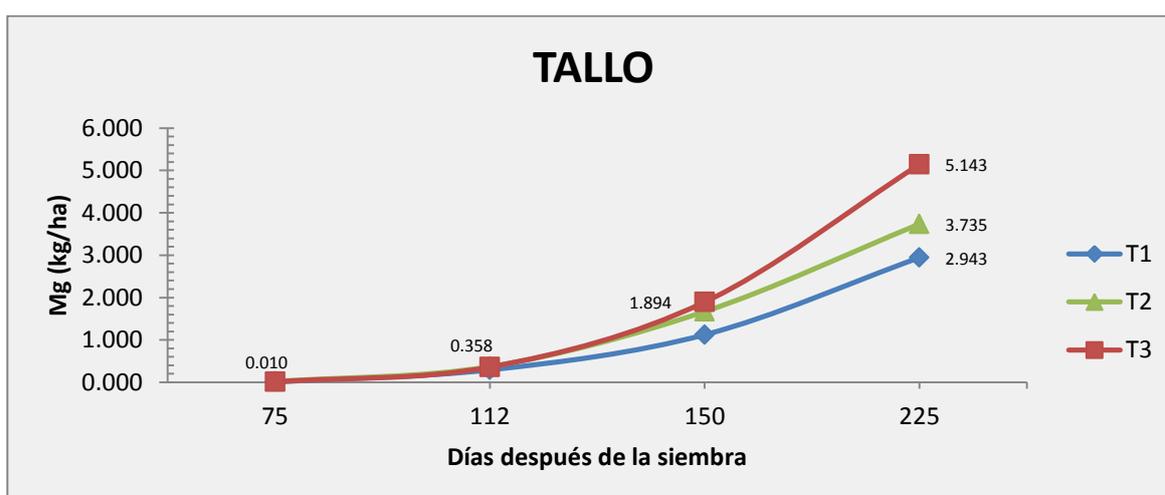
**Tabla 22.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 225 días después de la siembra.**

225 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación
T3	4.57	A
T2	3.68	AB
T1	2.95	B

DDS: días después de la siembra.

La prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 225 DDS los tratamientos T3 y T2 no difieren significativamente, siendo el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración de Mg. Los tratamientos T1 y T2 no presentan diferencias significativas (Tabla 22).



**Figura 10.** Curva de absorción de Mg en el tallo para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 10 muestra el contenido de magnesio en el tallo, el cual ha sido obtenido multiplicando el Mg en % por la cantidad de materia seca (MS) en kg ha<sup>-1</sup> producido en el tallo de la planta. Es el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración de Mg a los 75 DDS donde la concentración es de 0.01 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.22%, MS: 4.64 kg ha<sup>-1</sup>). A los 112 DDS el tratamiento T2 es en el cual se dio una mayor acumulación de 0.370 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.37%, MS: 100.78 kg ha<sup>-1</sup>). A los 150 DDS el tratamiento T3 la acumulación fue de 1.894 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.28%, MS: 670.34 kg ha<sup>-1</sup>). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 5.143 kg Mg ha<sup>-1</sup> (Mg: 0.25%, MS: 2021.76 kg ha<sup>-1</sup>), el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a 3.735 kg Mg ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T1 presenta una acumulación de 2.943 kg Mg ha<sup>-1</sup>.

#### D. Absorción de Magnesio en la hoja

*Tabla 23.*

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la hoja del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 75, 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	75 DDS				112 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.0000601	0.0000301	0.35 ns	0.7176	0.00905	0.00453	0.86 *	0.4693
Bloques	3	0.00325	0.00108	12.62	0.0053	0.4048	0.1349	25.66	0.0008
Error	6	0.000514	0.000086			0.0316	0.0053		
Total	11	0.00382				0.445			
		R <sup>2</sup> = 86.6% CV = 24.91 %				R <sup>2</sup> = 93% CV = 20.06 %			
FV	GL	150 DDS				225 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular 0.05	SC	CM	Fc	F tabular 0.05
Tratamientos	2	0.00548	0.00274	0.85 *	0.4715	1.333	0.66666	4.14*	0.0742
Bloques	3	0.01370	0.00457	1.42	0.3251	9.9417	3.3139	20.58	0.0015
Error	6	0.019	0.00032			0.966	0.161		
Total	11	0.038				12.24			
		R <sup>2</sup> = 50.4% CV = 20.53 %				R <sup>2</sup> = 92.1% CV = 15.71 %			

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 23, muestra que a los 75 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de magnesio en la hoja. A los 112, 150 y 225 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de magnesio en la hoja del cultivo.

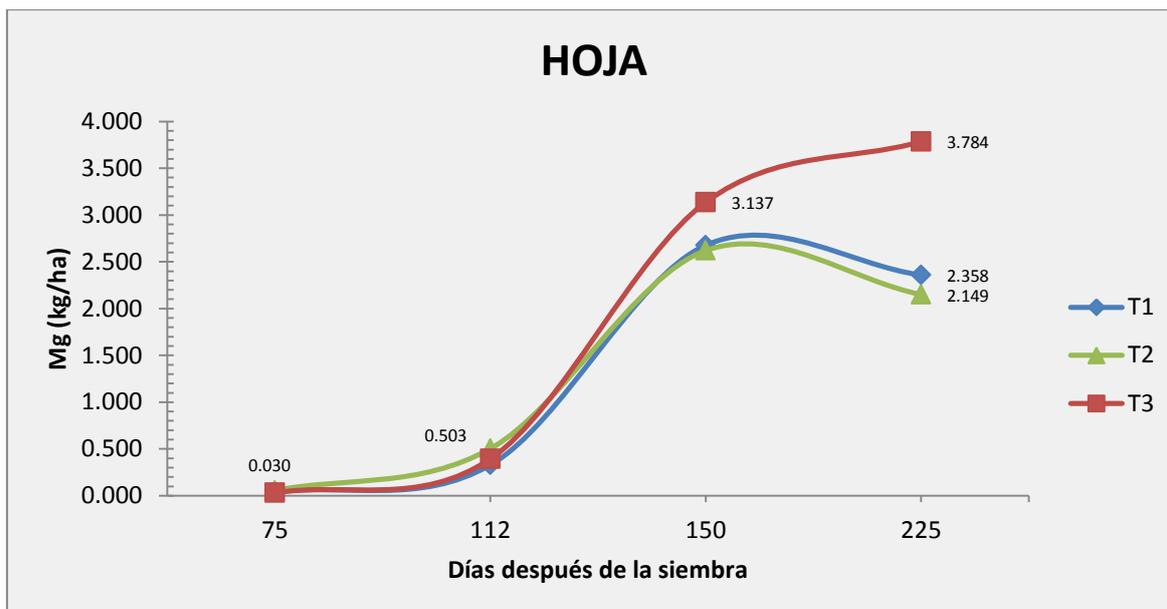
**Tabla 24.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en la hoja del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.**

112 DDS			150 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T2	0.398	A	T1	0.30	A
T3	0.355	A	T2	0.27	A
T1	0.332	A	T3	0.25	A
225 DDS					
Tratamientos	Promedio	Significación			
T3	3.01	A			
T1	2.43	AB			
T2	2.22	B			

**DDS:** días después de la siembra.

En la Tabla 24 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112 y 150 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas. Es el tratamiento T2 el que presenta una mayor concentración de Mg a los 112 DDS y el tratamiento T1 a los 150 DDS. A los 225 DDS el tratamiento T3 no difiere estadísticamente con el tratamiento T1, pero si con el tratamiento T2, el que presenta una mayor concentración de magnesio es el tratamiento T3.



**Figura 11.** Curva de absorción de Mg en la hoja para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 11 muestra el contenido de magnesio en la hoja, el cual ha sido obtenido multiplicando el Mg en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en la hoja de la planta. A los 75 y 112 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración, con una acumulación de  $0.056 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.55%, MS:  $10.20 \text{ kg ha}^{-1}$ ), una acumulación de  $0.503 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.68%, MS:  $73.68 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a los 112 DDS. A los 150 DDS es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a  $3.137 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.40%, MS:  $784.36 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $3.784 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.44%, MS:  $851.61 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $2.358 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $2.149 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ .

## E. Absorción de Magnesio en el fruto

**Tabla 25.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el fruto del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					0.05				0.05
<b>Tratamientos</b>	2	0.000056	0.000028	0.02 ns	0.9822	0.00941	0.0047	2.96 *	0.1273
<b>Bloques</b>	3	0.1264	0.0421	27.09	0.0007	0.1602	0.0534	33.66	0.0004
<b>Error</b>	6	0.00933	0.00156			0.0095	0.00159		
<b>Total</b>	11	0.136				0.179			
		R <sup>2</sup> = 92.9 % CV = 22.41 %				R <sup>2</sup> = 94.7 % CV = 14.84 %			
FV	GL	225 DDS							
		SC	CM	Fc	F tabular				
					0.05				
<b>Tratamientos</b>	2	2.6429	1.3215	1.26*	0.3489				
<b>Bloques</b>	3	25.4246	8.4749	8.09	0.0157				
<b>Error</b>	6	6.286	1.047						
<b>Total</b>	11	34.35							
		R <sup>2</sup> = 81.7 % CV = 22.47 %							

**DDS:** días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 25, muestra que a los 112 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas. A los 150 y 225 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de magnesio en el fruto del cultivo.

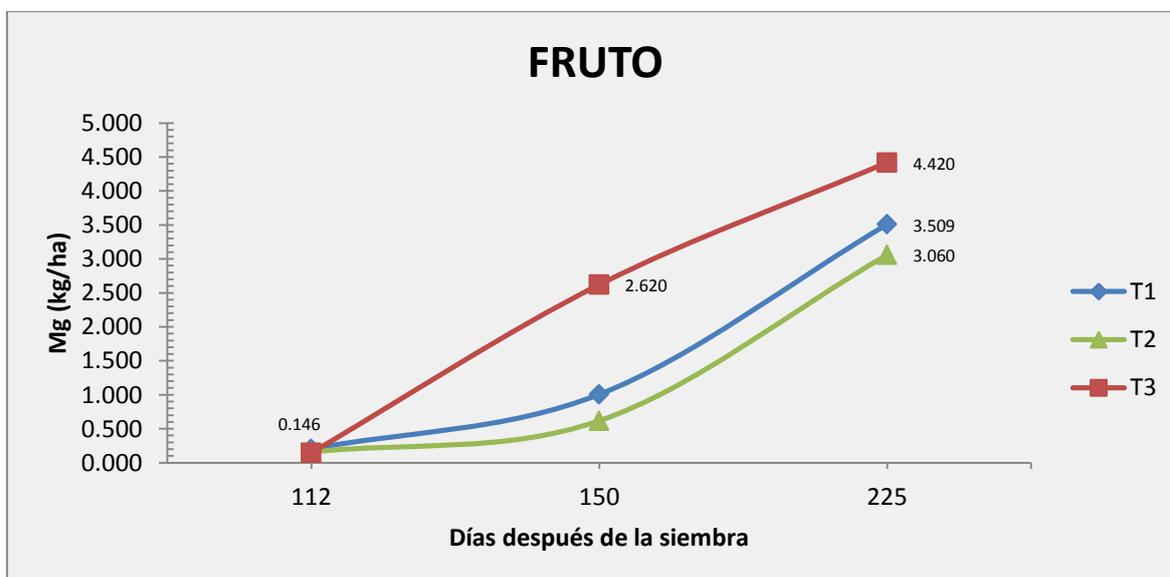
**Tabla 26.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de Mg en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.**

Tratamientos	150 DDS		225 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T1	0.297	A	T3	5.17	A
T3	0.278	A	T1	4.46	A
T2	0.231	A	T2	4.03	A

DDS: días después de la siembra.

En la Tabla 26 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 150 y 225 DDS, los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas. El tratamiento T1 es el que presenta una mayor concentración de magnesio a los 150 DDS y el tratamiento T3 en el cual ocurre una mayor concentración de Mg a los 225 DDS.



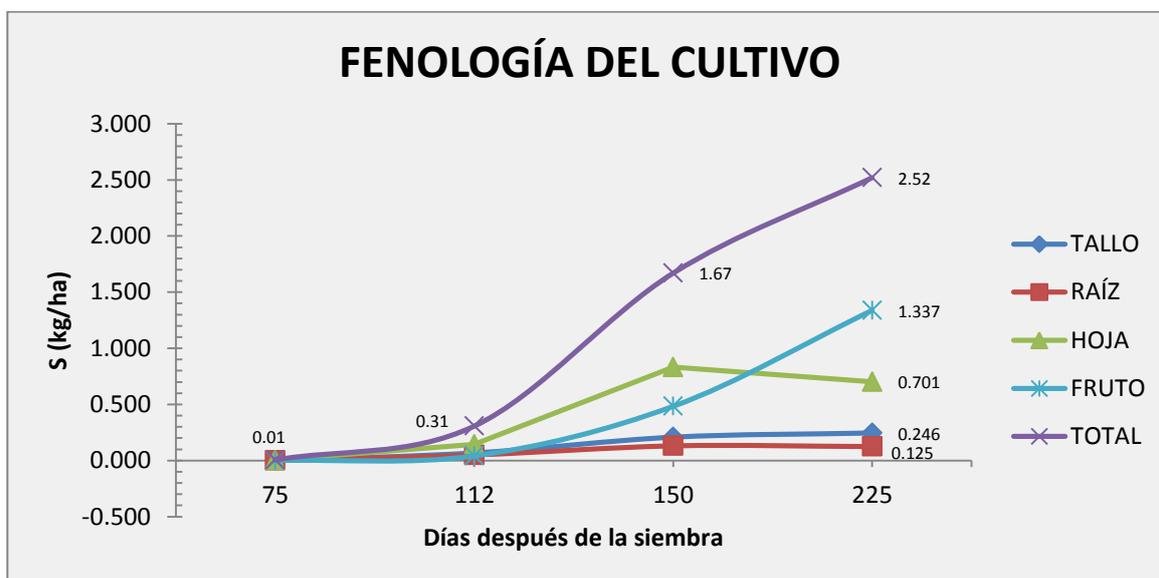
**Figura 12. Curva de absorción de Mg en el fruto para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.**

La Figura 12 muestra el contenido de magnesio en el fruto, el cual ha sido obtenido multiplicando el mg en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en el fruto de la planta. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor

concentración con una acumulación de  $0.203 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.25%, MS:  $81.06 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $2.62 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.28%, MS:  $948.59 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $4.42 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  (Mg: 0.31%, MS:  $1140.17 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $3.509 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $3.060 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ .

## AZUFRE (S)

### A. Curva de crecimiento del cultivo



**Figura 13.** Curva de crecimiento para el sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

En campo se observó que las etapas fenológicas (Figura 13) del cultivo sucedieron durante los siguientes días: crecimiento vegetativo hasta los 112 días después de la siembra (DDS), inicio de guiado después de los 75 DDS, la floración se inicia a los 112 DDS, la fructificación a los 120 DDS, el llenado de frutos a los 150 DDS y la primera cosecha se inicia a los 225 DDS.

A los 225 DDS la concentración total de azufre es  $2.52 \text{ kg S ha}^{-1}$ . El tallo es el órgano de la planta donde hay una mayor concentración de S igual a  $1.337 \text{ kg S ha}^{-1}$ , en la hoja es  $0.701 \text{ kg S ha}^{-1}$ , en el fruto es  $0.246 \text{ kg S ha}^{-1}$  y en la raíz  $0.125 \text{ kg S ha}^{-1}$  (Figura 13).

## B. Absorción de Azufre en la raíz

**Tabla 27.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la raíz del cultivo de sachu inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	0.000047	0.000023	0.16 ns	0.8539	0.00026	0.00013	1.34*	0.3312
Bloques	3	0.00443	0.001476	10.29	0.0088	0.0008	0.000267	2.68	0.1403
Error	6	0.00086	0.000143						
Total	11	0.00533				0.0212			
		$R^2 = 83.9\%$ CV = 24.81 %				$R^2 = \%$ CV = 23.34 %			
FV	GL	225 DDS							
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	0.00133	0.00066	1.24*	0.3544				
Bloques	3	0.0219	0.00731	13.66	0.0043				
Error	6	0.0032	0.00053						
Total	11	0.026							
		$R^2 = 89.3\%$ CV = 17.51 %							

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativo.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 27, muestra que a los 112 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de azufre en la raíz, en cambio a los 150 y 225 DDS nos indica que los tratamientos difieren significativamente en la concentración de azufre en la raíz del cultivo.

Tabla 28.

Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la raíz del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 150 y 225 días después de la siembra.

Tratamientos	150 DDS		225 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T2	0.049	A	T3	0.144	A
T1	0.042	A	T2	0.135	A
T3	0.037	A	T1	0.118	A

DDS: días después de la siembra.

Según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 150 y 225 DDS los tratamientos no difieren estadísticamente, la mayor concentración de azufre lo obtuvo el tratamiento T2 a los 150 DDS y el tratamiento T3 es el que presenta una mayor concentración de azufre con a los 225 DDS. (Tabla 28).

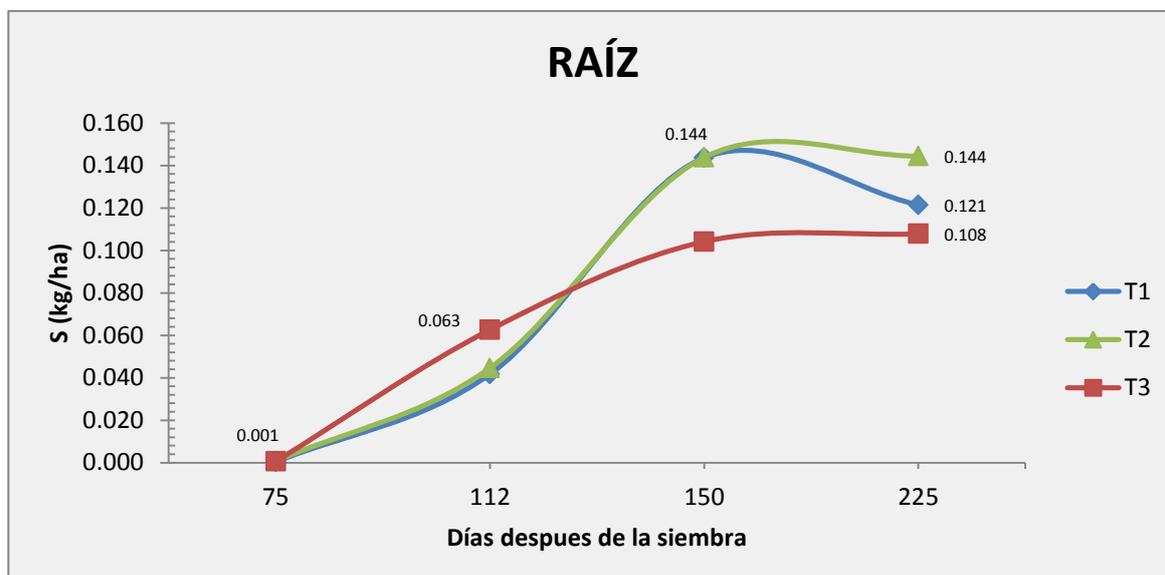


Figura 14. Curva absorción de S en la raíz para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 14 muestra el contenido de azufre en la raíz, el cual ha sido obtenido multiplicando el S en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en la raíz de la planta. A los 75 DDS el tratamiento T3 presentó una mayor concentración igual

a  $0.001 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.02%, MS:  $2.67 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a los 112 DDS una acumulación fue de  $0.063 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.16%, MS:  $38.52 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 150 DDS la mayor acumulación se da en los tratamientos T1 y T2 con una acumulación de  $0.144 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.15 y 0.18%, MS:  $153.90$  y  $117.40 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T2 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $0.144 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.09%, MS:  $165.05 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $0.121 \text{ kg S ha}^{-1}$  y el tratamiento T3 presenta una acumulación de  $0.108 \text{ kg S ha}^{-1}$ .

### C. Absorción de Azufre en el tallo

**Tabla 29.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					0.05				0.05
Tratamientos	2	0.0032	0.00162	2.05*	0.2093	0.00104	0.00052	7.41*	0.0239
Bloques	3	0.2491	0.083	105.44	<.0001	0.00192	0.000639	9.09	0.0119
Error	6	0.0047	0.00079			0.00042	0.00007		
Total	11	0.257				0.0034			
		R <sup>2</sup> = 98.1% CV = 15.70 %				R <sup>2</sup> = 87% CV = 10.39 %			
225 DDS									
FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular				
					0.05				
Tratamientos	2	0.00292	0.00146	0.11 ns	0.8987				
Bloques	3	1.864	0.6212	46.32	0.0002				
Error	6	0.0804	0.0134						
Total	11	1.947							
		R <sup>2</sup> = 95.8% CV = 15.22 %							

**DDS:** días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

Según el análisis de varianza registrado en la Tabla 29, muestra que a los 112 y 150 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la

concentración de azufre en el tallo, en cambio a los 225 DDS nos indica que los tratamientos no difieren significativamente en la concentración de S en el tallo del cultivo.

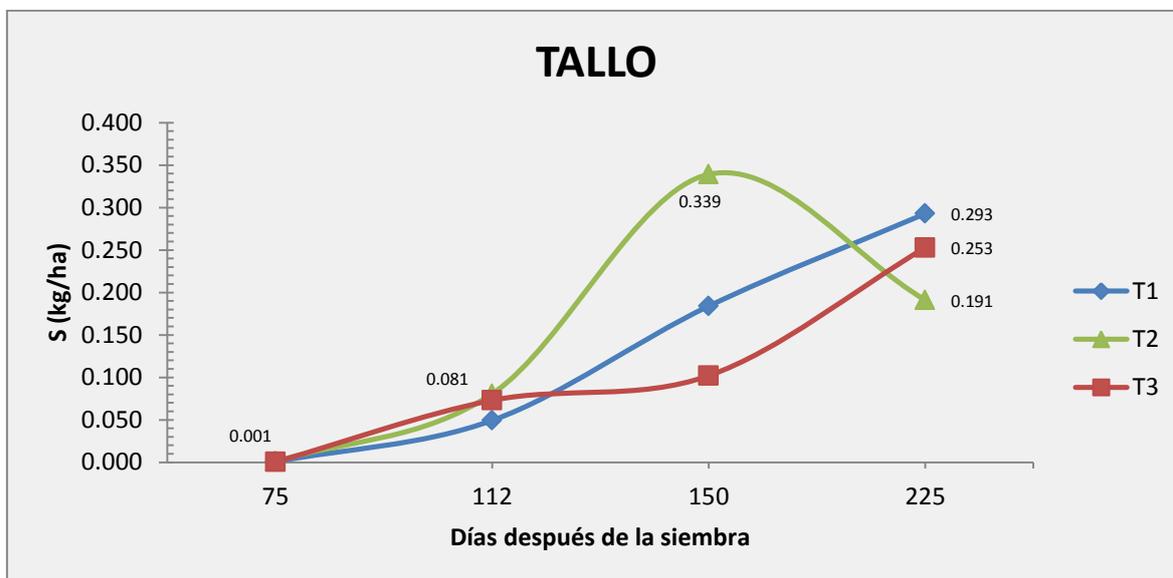
**Tabla 30.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el tallo del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.**

Tratamientos	112 DDS		150 DDS		
	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T2	0.196	A	T1	0.094	A
T3	0.183	A	T2	0.076	B
T1	0.157	A	T3	0.073	B

DDS: días después de la siembra.

La prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativas, es el tratamiento T2 el que presenta una mayor concentración de azufre. A los 225 DDS el tratamiento T1 es el que mayor concentración de azufre presenta difiriendo significativamente con los tratamientos T2 y T3 (Tabla 30).



**Figura 15.** Curva de absorción de S en el tallo para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 15 muestra el contenido de azufre en el tallo, el cual ha sido obtenido multiplicando el S en % por la cantidad de materia seca (MS) en kg ha<sup>-1</sup> producido en el tallo de la planta. A los 75, 112 y 150 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a 0.001 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.01%, MS: 6.04 kg ha<sup>-1</sup>), a los 112 DDS una acumulación fue de 0.081 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.08%, MS: 100.78 kg ha<sup>-1</sup>) y una acumulación de 0.339 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.06%, MS: 609.63 kg ha<sup>-1</sup>) a los 150 DDS. A los 225 DDS el tratamiento T1 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 0.293 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.03%, MS: 1171.21 kg ha<sup>-1</sup>), el tratamiento T3 presenta una acumulación igual a 0.253 kg S ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T1 presenta una acumulación de 0.191 kg S ha<sup>-1</sup>.

#### D. Absorción de Azufre en la hoja

**Tabla 31.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
		0.05				0.05			
Tratamientos	2	0.00323	0.00162	2.05*	0.2093	0.00104	0.000521	7.41*	0.0239
Bloques	3	0.2491	0.083	105.44	<.0001	0.00192	0.000638	9.09	0.0119
Error	6	0.0047	0.00079			0.00042	0.00007		
Total	11	0.257				0.00338			
		R <sup>2</sup> = 98.1 % CV = 15.70 %				R <sup>2</sup> = 87.5% CV = 10.39 %			
FV	GL	225 DDS							
		SC	CM	Fc	F tabular				
		0.05							
Tratamientos	2	0.00292	0.00146	0.11 ns	0.8987				
Bloques	3	1.864	0.621	46.32	0.0002				
Error	6	0.0804	0.0134						
Total	11	1.9469							
		R <sup>2</sup> = 95.8 % CV = 15.22 %							

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

ns: No significativo.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 31, muestra que a los 112 y 150 DDS los tratamientos en estudio presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de azufre en la hoja. A los 225 DDS los tratamientos en estudio no presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de azufre en la hoja del cultivo.

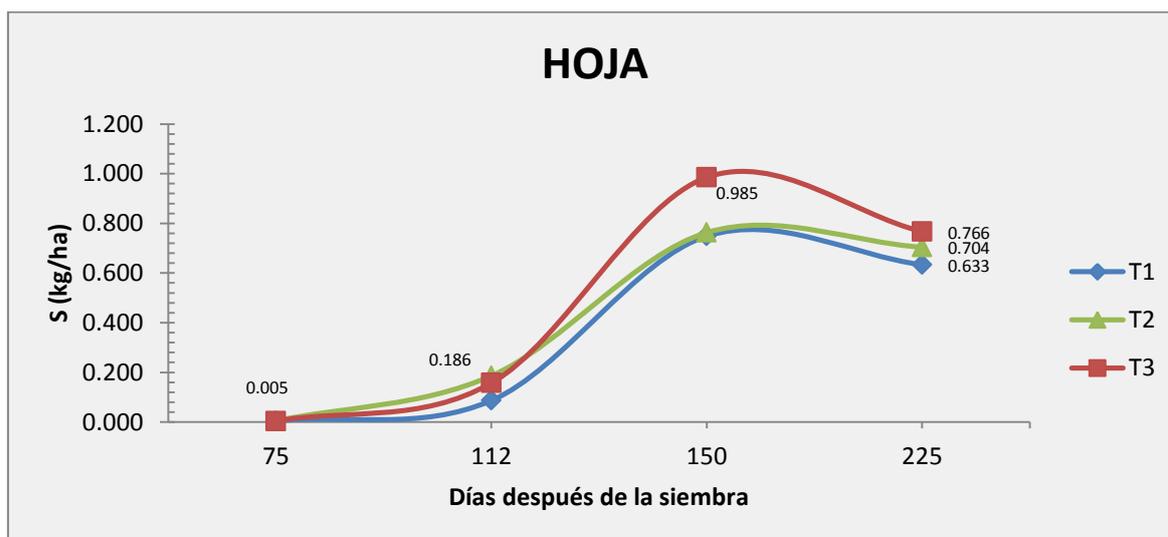
**Tabla 32.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en la hoja del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.**

112 DDS			150 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T2	0.196	A	T1	0.094	A
T3	0.183	A	T2	0.076	B
T1	0.157	A	T3	0.073	B

DDS: días después de la siembra.

En la Tabla 32 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112 DDS los tratamientos no presentan diferencias estadísticas significativamente, el tratamiento T2 es el que presenta una mayor concentración de azufre. A los 150 DDS el tratamiento T1 es el que mayor concentración de S presenta, difiriendo estadísticamente frente a los tratamientos T3. Los tratamientos T3 y T2 no presentan diferencias significativas.



**Figura 16.** Curva de absorción de S en la hoja para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 16 muestra el contenido de azufre en la hoja, el cual ha sido obtenido multiplicando el S en % por la cantidad de materia seca (MS) en kg ha<sup>-1</sup> producido en la hoja de la planta. A los 75 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a 0.005 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.05%, MS: 9.14 kg ha<sup>-1</sup>). A los 112 DDS fue en el tratamiento T2 en donde se dio una mayor una acumulación siendo igual a 0.186 kg S ha<sup>-1</sup> (P: 0.25%, MS: 73.68 kg ha<sup>-1</sup>). A los 150 y 225 DDS el tratamiento T3 concentro la mayor acumulación siendo igual a 0.985 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.13%, MS: 784.36 kg ha<sup>-1</sup>) a los 150 DDS y a los 225 DDS el dado una concentración igual a 0.766 kg S ha<sup>-1</sup> (S: 0.09%, MS: 851.61 kg ha<sup>-1</sup>). A los 225 DDS el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a 0.633 kg S ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 0.704 kg S ha<sup>-1</sup>.

### E. Absorción de Azufre en el fruto

**Tabla 33.**

*Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112, 150 y 225 días después de la siembra.*

FV	GL	112 DDS				150 DDS			
		SC	CM	Fc	F tabular	SC	CM	Fc	F tabular
					0.05				0.05
Tratamientos	2	0.00013	0.00006300	0.91*	0.4511	0.00058	0.00029	0.77*	0.5032
Bloques	3	0.0613	0.02042244	295.50	<.0001	0.0628	0.0209	55.63	<.0001
Error	6	0.00041	0.000069			0.0023	0.00038		
Total	11	0.062				0.066			
		R <sup>2</sup> = 99 % CV = 16.63 %				R <sup>2</sup> = 96% CV = 19.51 %			
225 DDS									
FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular				
					0.05				
Tratamientos	2	0.1055	0.0527	0.93*	0.4463				
Bloques	3	4.7278	1.5759	27.66	0.0007				
Error	6	0.342	0.057						
Total	11	5.175							
		R <sup>2</sup> = 93.3% CV = 23.96 %							

DDS: días después de la siembra.

\*: Estadísticamente significativamente.

El análisis de varianza registrado en la Tabla 33, muestra que a los 112, 150 y 225 DDS los tratamientos presentan diferencias estadísticas significativas en la concentración de azufre en el fruto del cultivo.

**Tabla 34.**

**Prueba de Duncan al 5% de probabilidad para el efecto de los tratamientos en estudio en la concentración de S en el fruto del cultivo de sachá inchi. Datos registrados a los 112 y 150 días después de la siembra.**

112 DDS			150 DDS		
Tratamientos	Promedio	Significación	Tratamientos	Promedio	Significación
T3	0.055	A	T1	0.108	A
T1	0.049	A	T3	0.099	A
T1	0.047	A	T2	0.091	A
225 DDS					
Tratamientos	Promedio	Significación			
T3	1.098	A			
T1	1.018	A			
T1	0.872	A			

DDS: días después de la siembra.

En la Tabla 34 la prueba de Duncan al 5% de probabilidad muestra que a los 112, 150 y 225 DDS, los tratamientos no difieren significativamente. A los 112 y 225 DDS es el tratamiento T3 el que presentan una mayor concentración de azufre. A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el cual ocurre una mayor concentración de azufre.



**Figura 17.** Curva de absorción de S en el fruto para el sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) cultivado bajo condiciones de Bello Horizonte – Tarapoto.

La Figura 17 muestra el contenido de azufre en el fruto, el cual ha sido obtenido multiplicando el S en % por la cantidad de materia seca (MS) en  $\text{kg ha}^{-1}$  producido en el fruto de la planta. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a  $0.045 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.06%, MS:  $81.06 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $0.812 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.09%, MS:  $948.59 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $1.62 \text{ kg S ha}^{-1}$  (S: 0.11%, MS:  $1440.17 \text{ kg ha}^{-1}$ ), el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $1217.75 \text{ kg S ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $1039.42 \text{ kg S ha}^{-1}$ .

### 3.2 Discusión

#### **Producción de Área Foliar del cultivo y Materia seca.**

Según Bertsch (1993), la absorción de nutrientes es un fenómeno que ocurre día a día y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrientes cualitativa y cuantitativamente diferentes. La definición clara de la duración y los cambios en peso de cada una de las etapas fenológicas, y su relación con los cambios en las concentraciones de elementos en los diferentes tejidos de la planta, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo.

En la Figura 1 y la Figura 2, se muestra la producción de área foliar y la cantidad de materia seca producida por el cultivo en sus diferentes etapas de crecimiento. El efecto de la fertilización con N, P, K es muy notorio tanto en el área foliar (AF) y en la materia seca (MS), pues se presentó una relación directa; a mayor dosis mayor AF y MS, más aun teniendo como aliados a los factores climáticos que benefician en gran manera la producción de AF Y MS. La demanda nutrimental de un cultivo está en función de la producción de biomasa y la distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta lo cual juega un papel fundamental en la producción (Peil y Gálvez, 2005). De acuerdo a Landis, (1989) existe una relación característica entre la concentración de un ion nutriente en el tejido de la planta y su crecimiento.

### **Cantidad total de absorción de Calcio, Magnesio y Azufre**

Las Figuras 3, 8 y 13, muestran el contenido total de Ca, Mg y S absorbidos por la planta. A los 75 DDS (días después de la siembra) el contenido registrado fue 0.16 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 0.06 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 0.01 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 112 DDS se registró una concentración de 2.85 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 1.13 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 0.31 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 150 DDS la concentración de 19.65 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 6.52 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 1.67 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS la concentración de 32.66 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 11.37 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 2.52 kg S ha<sup>-1</sup>.

Al respecto, Rincón *et al.* (1995) señalaron que la concentración de estos elementos en las plantas de pigmento grueso obedece a diversos factores, entre los que podemos mencionar; las condiciones del medio donde se desarrolla la planta, la época del año y la tecnología de producción, incluso existen variaciones de una especie a otra. El movimiento de nutrientes en la planta depende de la capacidad de absorción y de la demanda del nutriente, de tal manera que este movimiento envuelve diferentes procesos metabólicos, (Shaviv y Mikkelsen, 1993) interconectados como son: la liberación del suelo a la solución del mismo, el transporte hacia las raíces para su absorción y la translocación y utilización dentro de la planta. El transporte de nutrientes hacia la raíz, la absorción y translocación de los mismos ocurre simultáneamente; por esta razón, si se produce un cambio en uno de estos procesos se afectarán los demás. En otras palabras, si un proceso se vuelve lento, este será un factor limitante en la toma y translocación de nutrientes en la planta (Salas, 2002).

### **Contenido total de Calcio, Magnesio y Azufre en la raíz**

La Figura 4 muestra el contenido de Ca en la raíz. En cuanto al Ca es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración a lo largo de todo el ciclo, en el cual se dio una acumulación de 0.025 kg Ca ha<sup>-1</sup> a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de 0.513 kg Ca ha<sup>-1</sup>, los 150 DDS la acumulación fue de 1.797 kg Ca ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS el tratamiento T3 presenta una concentración igual a 2.384 kg Ca ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a 1.728 kg Ca ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 1.389 kg Ca ha<sup>-1</sup>.

En la Figura 9 se muestra el contenido de Mg en la raíz, es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración a lo largo del ciclo, en el cual se dio una acumulación de  $0.009 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de  $0.150 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ . A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T1 con una acumulación de  $0.656 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $0.893 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ , el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $0.672 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $0.481 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ .

La Figura 14 muestra el contenido de azufre en la raíz. A los 75 DDS el tratamiento T3 presento una mayor concentración igual a  $0.001 \text{ kg S ha}^{-1}$ , a los 112 DDS una acumulación fue de  $0.063 \text{ kg S ha}^{-1}$ . A los 150 DDS la mayor acumulación se da en los tratamientos T1 y T2 con una acumulación de  $0.144 \text{ kg S ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T2 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $0.144 \text{ kg S ha}^{-1}$ , el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $0.121 \text{ kg S ha}^{-1}$  y el tratamiento T3 presenta una acumulación de  $0.108 \text{ kg S ha}^{-1}$ .

En promedio, en la mayoría de los cultivos agrícolas importantes, el volumen de suelo ocupado por el sistema radical oscila entre 0,7 y 0,9% y el nutrimento que mayoritariamente absorbe la planta mediante este mecanismo es el calcio, aun cuando este proceso le permite también obtener una cantidad significativa de toda la demanda de magnesio, zinc, y manganeso (Salas, 2002). Las raíces son los órganos involucrados en la absorción de agua y minerales por excelencia. Sus atributos morfológicos y fisiológicos, expresados por ejemplo en su alta relación superficie/volumen y en la plasticidad de su arquitectura, determinan su éxito ecológico en el forrajeo de nutrientes y agua en un ambiente hostil y competitivo (el suelo), donde el abastecimiento de los recursos es limitado, local y variable.

Al igual que los tallos, las raíces pueden constituir un importante órgano para el almacenamiento de agua, minerales y carbohidratos. Asimismo, señales químicas provenientes de la raíz, tanto de naturaleza hormonal como mineral, regulan las relaciones hídricas y el metabolismo de las hojas y de los tallo (Vinicio, 2002). El

suministro de nutrimentos a las raíces está gobernado por la concentración y forma de estos en la solución del suelo, por la humedad del suelo y la capacidad de absorción de la planta. La cuantificación de nutrimentos en la vecindad del sistema radical es la mejor medida de la disponibilidad para absorción, sin embargo, factores dentro de la planta, así como la concentración de iones en la solución junto con las propiedades físico-químicas, pueden afectar el movimiento de nutrimentos del suelo a la planta (Russell, 1977; Jungk, 1991).

En el sistema suelo, los nutrimentos llegan a la raíz de la planta por flujo de masas, difusión e interceptación radical. El flujo de masas es el transporte pasivo de nutrimentos hacia la raíz mediante el agua que la planta absorbe. La cantidad de nutrimentos que llegan a la raíz mediante este proceso, depende de la concentración de los mismos en la solución del suelo y de la proporción de agua que llega y circula en la raíz (Barber, 1995). El proceso de difusión se refiere al movimiento de nutrimentos de una zona de alta concentración, a una de baja concentración. Cuando el suministro de nutrimentos a la rizósfera por medio de flujo de masas o interceptación radicular, no es suficiente para satisfacer la demanda de la planta, se desarrolla un gradiente de concentración y los nutrimentos se mueven por difusión.

En la descripción del proceso de difusión se ha empleado el coeficiente de difusión, que se aplica para medios homogéneos. Sin embargo, al ser el suelo un medio heterogéneo, este coeficiente presenta ciertas dificultades (Barber, 1974; Mengel, 1985). La interceptación radicular se produce cuando el sistema radical crece entrando en directo contacto con el suelo. Este proceso de obtención de nutrimentos por las plantas, depende del volumen de suelo ocupado por el sistema radical, del tipo de raíces presentes y de la concentración de nutrimentos en ese volumen de suelo (Salas, 2002).

Por otro lado sostiene que las raíces gruesas y las raíces finas difieren en distribución, morfología, longevidad y funcionamiento. Las raíces gruesas y profundas garantizan el anclaje y extraen agua y minerales de horizontes más

profundos del suelo. Constituyen además importantes reservorios de recursos. Las raíces finas son más efímeras y responden dinámicamente a los cambios en el ambiente del suelo y a las señales fisiológicas provenientes de la parte aérea. Las raíces finas se encuentran localizadas superficialmente en el perfil del suelo y se supone que absorben la mayor proporción del agua y los minerales requeridos por las plantas. La rizósfera es el volumen de suelo afectado por la actividad de la raíz, y la complejidad y las propiedades de la misma varían longitudinalmente.

Mengel y Kirkby (1987) el calcio aparece en los tejidos vegetales, como  $\text{Ca}^{2+}$  libre y como  $\text{Ca}^{2+}$  adsorbido a iones no difusibles como grupos carboxílicos, fosforílicos en hidroxi fenólicos. Las plantas superiores frecuentemente contienen  $\text{Ca}^{2+}$  en cantidades apreciables que suelen ser del orden de 5 a 30 mg Ca/g m.s. Estos altos contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$ , sin embargo, son resultado de altos niveles de Ca en la solución suelo más que de la eficiencia del mecanismo de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  de las células de la raíz. Generalmente la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  es cerca de 10 veces mayor que la de  $\text{K}^+$ . La tasa de absorción de  $\text{Ca}^{2+}$ , sin embargo, es generalmente menor que la del  $\text{K}^+$ . Esto se debe a que el  $\text{Ca}^{2+}$  puede solo ser absorbido por los ápices más jóvenes de la raíz, donde las paredes celulares de la endodermis están aún sin suberizar (Clarkson y Sanderson, 1978).

La absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  puede también verse deprimida por la presencia competitiva de otros cationes como  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , que son rápidamente absorbidos por las raíces. El contenido de Ca de las plantas es, en gran parte, controlado genéticamente y se ve poco afectado por el suministro de Ca al medio radicular, siempre y cuando la disponibilidad de Ca sea la adecuada para el crecimiento normal de las plantas (Lonegaran y Snowball, 1969).

Generalmente la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$  en la solución del suelo es mayor que la del  $\text{K}^+$ , pero la tasa de absorción de  $\text{Mg}^{2+}$  por las células radiculares es mucho menor que la del  $\text{K}^+$ . Esta baja capacidad de absorber  $\text{Mg}^{2+}$  en relación con el  $\text{K}^+$ , probablemente no esté restringida al tejido radicular, sino que se da en otras partes de la planta (Mengel y Kirkby, 1987).

### **Contenido total de Calcio, Magnesio y Azufre en el tallo**

La Figura 5 muestra el contenido de calcio en el tallo. Es el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración a lo largo del ciclo, en el cual se dio una acumulación de 0.024 kg Ca ha<sup>-1</sup> a los 75 DDS, a los 112 DDS una acumulación de 0.955 kg Ca ha<sup>-1</sup>, a los 150 DDS se dio una acumulación de 5.53 kg Ca ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS el tratamiento T3 presenta una mayor concentración igual a 13.647 kg Ca ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a 10.051 kg Ca ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T1 presenta una acumulación de 7.825 kg Ca ha<sup>-1</sup>.

La Figura 10 muestra el contenido de magnesio en el tallo. Es el tratamiento T3 el que presenta una mayor concentración de Mg a los 75 DDS donde la concentración es de 0.01 kg Mg ha<sup>-1</sup>. A los 112 DDS el tratamiento T2 es en el cual se dio una mayor acumulación de 0.370 kg Mg ha<sup>-1</sup>. A los 150 DDS el tratamiento T3 la acumulación fue de 1.894 kg Mg ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 5.143 kg Mg ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a 3.735 kg Mg ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T1 presenta una acumulación de 2.943 kg Mg ha<sup>-1</sup>.

La Figura 15 muestra el contenido de azufre en el tallo. A los 75, 112 y 150 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a 0.001 kg S ha<sup>-1</sup>, a los 112 DDS una acumulación fue de 0.081 kg S ha<sup>-1</sup> y una acumulación de 0.339 kg S ha<sup>-1</sup> a los 150 DDS. A los 225 DDS el tratamiento T1 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 0.293 kg S ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T3 presenta una acumulación igual a 0.253 kg S ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 0.191 kg S ha<sup>-1</sup>.

El tallo puede constituir un importante órgano de reserva (particularmente en especies perennes) de agua, minerales y compuestos orgánicos, movilizables durante períodos de estrés (déficit hídrico, defoliación, podas). El crecimiento secundario de las especies perennes representa una alta demanda de minerales, necesarios para la actividad del cambium. Una proporción importante de estos

minerales es inmovilizada en el duramen (xilema no conductor) de los troncos y de las raíces (Vinicio, 2002). Una vez absorbidos por las raíces y translocados por medio del xilema a la parte aérea de la planta, los nutrimentos pueden ser transferidos al floema o depositados en la raíz o células de las hojas (Jeschke *et al.*, 1985). La movilización de nutrimentos en el xilema es muy amplia y libre, mientras que en el floema es más restringida (Salas, 2002).

El  $\text{Ca}^{2+}$  en la savia del xilema se transloca en dirección ascendente con la corriente de transpiración. Asa, en gran medida, la intensidad de transpiración controla la tasa de translocación de  $\text{Ca}^{2+}$  hacia arriba. El movimiento del  $\text{Ca}^{2+}$  en los vasos del xilema, sin embargo, no puede explicarse simplemente en términos de flujo de masa, ya que los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  son absorbidos por las células adyacentes y también se adsorben a los aniones no difusibles en las paredes del xilema. El manganeso tiene una movilidad en el floema similar a la del calcio y además, se ha reportado que aplicaciones foliares con este micronutriente son efectivas por poco tiempo (Gettier *et al.*, 1985).

### **Contenido total de Calcio, Magnesio y Azufre en las hojas**

La Figura 6 muestra el contenido de calcio en la hoja. A los 75 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración, en el cual se dio una acumulación de  $0.123 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . A los 112 DDS fue en el tratamiento T3 en donde se dio una mayor una acumulación siendo igual a  $1.619 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . A los 150 y 225 DDS el tratamiento T3 concentro la mayor acumulación siendo igual a  $16.874 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  a los 150 DDS y a los 225 DDS el dado una concentración igual a  $17.032 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T2 presenta una acumulación igual a  $11.493 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y el tratamiento T1 presenta una acumulación de  $10.995 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ .

La Figura 11 muestra el contenido de magnesio en la hoja. A los 75 y 112 DDS es el tratamiento T2 en el cual se ha dado una mayor concentración, con una acumulación de  $0.056 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  a los 75 DDS, una acumulación de  $0.503 \text{ kg Mg}$

ha<sup>-1</sup> a los 112 DDS. A los 150 DDS es el tratamiento T3 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a 3.137 kg Mg ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a 3.784 kg Mg ha<sup>-1</sup>, el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a 2.358 kg Mg ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 2.149 kg Mg ha<sup>-1</sup>. La

Figura 16 muestra el contenido de azufre en la hoja. A los 75 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a 0.005 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 112 DDS fue en el tratamiento T2 en donde se dio una mayor una acumulación siendo igual a 0.186 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 150 y 225 DDS el tratamiento T3 concentro la mayor acumulación siendo igual a 0.985 kg S ha<sup>-1</sup> a los 150 DDS y a los 225 DDS el dado una concentración igual a 0.766 kg S ha<sup>-1</sup>. A los 225 DDS el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a 0.633 kg S ha<sup>-1</sup> y el tratamiento T2 presenta una acumulación de 0.704 kg S ha<sup>-1</sup>.

La demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida, y muestra una relación estrecha con la tasa y las características del crecimiento. La longevidad de las hojas está fuertemente determinada por el estado fisiológico de las plantas en el momento de su producción. La aplicación de nutrimentos en función de la demanda (una consecuencia del ciclo fenológico) debería constituir la base de la fertilización científica de los cultivos (Vinicio, 2002).

Los nutrimentos han sido caracterizados por tener alto, bajo o intermedio movimiento en el floema, lo cual ha sido determinado claramente por medio del empleo de isótopos. Los elementos que son muy móviles en el floema desde las hojas son el nitrógeno, fósforo, potasio y en menor proporción el magnesio. Altas concentraciones de estos elementos se han encontrado en extractos del floema circulando por la planta; cuando la disponibilidad de estos elementos disminuye, las hojas más jóvenes retienen su circulación a expensas de las hojas más viejas, produciendo con ello una disminución en concentración y la aparición de las deficiencias en las hojas viejas (Maschner, 1995).

En las hojas, el flujo entrante de  $\text{Ca}^{2+}$  disminuye marcadamente después de la madurez de la hoja, aunque se mantenga una tasa de transpiración constante (Koontz y Foote, 1966). En los frutos se verifica el mismo fenómeno. En plantas en crecimiento hay pruebas de que el  $\text{Ca}^{2+}$  se transloca preferentemente hacia el ápice de los brotes aun cuando la tasa de transpiración aquí es mucho más baja que en las hojas más maduras (Mengel y Kirkby, 1987).

La tasa de translocación descendente de  $\text{Ca}^{2+}$  es muy baja ya que el  $\text{Ca}^{2+}$  se transporta en concentraciones muy bajas en el floema (Wiersum, 1979). Como resultado de la baja concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el floema, todos los órganos de la planta que son provistos ampliamente con nutrientes en dicha savia son bastante pobres en  $\text{Ca}^{2+}$ , mientras que, por otra parte, los contenidos de K de estos órganos son relativamente altos, debido a que el  $\text{K}^+$  se presenta en la savia del floema en cantidades abundantes (Mengel y Kirkby, 1987).

La deficiencia de Mg inhibe la síntesis proteica (Header y Mengel, 1969). La deficiencia comienza en las hojas más viejas, pasando luego a las más jóvenes. Se da un amarillamiento intervenal o clorosis y, en los casos extremos, las zonas se necrosan. Las hojas individuales que padecen deficiencia de Mg, sin embargo, son rígidas y quebradizas y las venas intercostales aparecen retorcidas. El S de las hojas viejas, no contribuye al suministro de los tejidos más jóvenes, lo que demuestra que no se da una translocación en contra la corriente de transpiración (Mengel y Kirkby, 1987).

Elementos como el calcio, boro, manganeso y hierro, son prácticamente inmóviles en el floema desde las hojas. Cuando el suministro desde la raíz de estos elementos disminuye, su contenido disminuye en las hojas jóvenes, mientras que en las hojas viejas e incluso las senescentes, la concentración se mantiene alta. La poca movilidad del calcio y del boro en el floema se atribuye a la poca concentración de estos elementos en los jugos del floema, la aparición de la deficiencia de calcio y boro en las hojas jóvenes, es independiente del contenido total en la planta y generalmente se produce tan pronto como el suministro externo es inadecuado

(Haynes y Robbins, 1947). Salas (2002) otros elementos como el azufre, cobre y zinc, tienen una movilidad variable en el floema desde las hojas y Hill (1980) indica que la retención y movimiento de estos elementos está relacionada con el movimiento del nitrógeno.

### **Contenido total de Calcio, Magnesio y Azufre en la fruta**

La Figura 7 muestra el contenido de calcio en el fruto. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración, en el cual se dio una acumulación de  $0.444 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $4.083 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $7.354 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ , el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $6.104 \text{ kg Ca ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $5.665 \text{ kg Ca ha}^{-1}$ .

La Figura 12 muestra el contenido de magnesio en el fruto. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración con una acumulación de  $0.203 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ . A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $2.62 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $4.42 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ , el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $3.509 \text{ kg Mg ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $3.060 \text{ kg Mg ha}^{-1}$ .

La Figura 17 muestra el contenido de azufre en el fruto. A los 112 DDS es el tratamiento T1 en el cual se ha dado una mayor concentración igual a  $0.045 \text{ kg S ha}^{-1}$ . A los 150 DDS la mayor acumulación se da en el T3 con una acumulación de  $0.812 \text{ kg S ha}^{-1}$ . A los 225 DDS el tratamiento T3 es en el que se ha dado una mayor concentración igual a  $1.62 \text{ kg S ha}^{-1}$ , el tratamiento T1 presenta una acumulación igual a  $1217.75 \text{ kg S ha}^{-1}$  y el tratamiento T2 presenta una acumulación de  $1039.42 \text{ kg S ha}^{-1}$ .

Mengel y Kirkby (1987) sostienen que en las semillas, el Ca se presenta predominantemente como sal de ácido inositol hexafosfórico (ácido fítico). La síntesis de etileno está regulada por la membrana de la pared celular. Esta producción junto con un aumento en la permeabilidad de las membranas como resultado de la caída del  $\text{Ca}^{2+}$  fisiológicamente activo puede considerarse como pasos esenciales en la maduración del fruto.

Un aumento del suministro de K afecta el contenido de Mg de los diferentes órganos de las plantas en un grado favorable. Los frutos y los tejidos de reserva son altamente dependientes del floema para su suministro de minerales, presentan niveles altos de K y Mg que de Ca. En contraste con el  $\text{Ca}^{2+}$ , el  $\text{Mg}^{2+}$  es muy móvil en el floema y puede ser translocado desde las hojas viejas a las jóvenes o a los ápices (Steucek y Koontz, 1970; Schimansky, 1973).

## CONCLUSIONES

- La absorción total de calcio al final del experimento fue 55.32 kg Ca ha<sup>-1</sup> y la extracción fue 8.90 kg Ca ha<sup>-1</sup>.
- Por su parte, la absorción total de magnesio al final del experimento fue 19.08 kg Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que la extracción fue 5.24 kg Mg ha<sup>-1</sup>.
- A su vez, la absorción total de azufre en la misma etapa fue 4.50 kg S ha<sup>-1</sup> y la extracción fue 1.86 kg S ha<sup>-1</sup>.
- La curva de absorción total registra que:
  - En la etapa de crecimiento vegetativo el contenido fue 0.16 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 0.06 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 0.01 kg S ha<sup>-1</sup>.
  - En la etapa de Inicio de floración y fructificación, se registró una concentración de 2.85 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 1.13 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 0.31 kg S ha<sup>-1</sup>.
  - En la etapa de Cuajado y llenado de frutos, la concentración fue 19.65 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 6.52 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 1.67 kg S ha<sup>-1</sup>.
  - A la Primera cosecha, la concentración fue 32.66 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 11.37 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 2.52 kg S ha<sup>-1</sup>.
- La etapa fenológica de mayor absorción de Ca, Mg y S se registró a la primera cosecha (225 dds.) con la aplicación de 23 kg de N ha<sup>-1</sup>, 35 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y 30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> correspondiente al T3, distribuyéndose de la siguiente manera:
  - En la raíz la absorción total fue 1.834 kg de Ca ha<sup>-1</sup>, 0.682 kg de Mg ha<sup>-1</sup> y 0.125 kg de S ha<sup>-1</sup>.
  - En el tallo la absorción total fue: 10.508 kg Ca ha<sup>-1</sup>, 3.94 kg Mg ha<sup>-1</sup> y 0.246 kg S ha<sup>-1</sup>.
  - En las hojas la absorción fue: 13.173 kg de Ca ha<sup>-1</sup>, 2.764 kg de Mg ha<sup>-1</sup> y 0.701 kg de S ha<sup>-1</sup>.
  - Finalmente, en el fruto la absorción total fue 6.374 kg de Ca ha<sup>-1</sup>, 3.663 kg de Mg ha<sup>-1</sup> y 1.337 kg de S ha<sup>-1</sup>.

- El cultivo presenta las siguientes etapas fenológicas, crecimiento vegetativo perdura hasta 112 días después de la siembra, el inicio de guiado es aproximadamente a los 75 días después de la siembra, a partir de 112 días después de la siembra se inicia la etapa de floración y consecuentemente la fructificación. El llenado de frutos ocurre a partir de los 150 días después de la siembra y por último la cosecha se realiza a partir de los 225 días después de la siembra. Cabe resaltar que el sachá inchi por ser un cultivo perenne, a partir de la primera cosecha esta se realizara cada 15 días.
  
- El índice de área foliar del cultivo depende de la edad de la planta y de la dosis de fertilización, el tratamiento T3 supera significativamente a los tratamientos T1 y T2, lo mismo sucede con la producción de materia seca.

## RECOMENDACIONES

Considerando las condiciones edafoclimáticas donde se realizó el presente trabajo de investigación y en base a los resultados y discusiones realizadas, se recomienda:

- Aplicar la dosis del Tratamiento 3 (23 kg de N ha<sup>-1</sup>, 35 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> y 30 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), debido a que registra que: a mayor aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio, mejor disponibilidad de los demás nutrientes, se genera un sinergismo; y por tanto mayor concentración de calcio, magnesio y azufre en toda la planta.
- Teniendo en cuenta que el tejido vegetal comercializable de la planta de sachá inchi es el fruto y la mayor concentración de los nutrientes extraídos están en él; de lo mencionado en el párrafo anterior se puede deducir a mayor extracción mayor producción, ya que es un cultivo perenne y está en constante producción se recomienda aplicar la fertilización en base a N, P y K, lo que va originar una mayor producción, mayor rendimiento y por ende la rentabilidad del cultivo.
- En cuanto a la época de siembra, la sugerencia pertinente es que se lleve a cabo en meses de lluvias de Diciembre a Enero, ya que en estos meses son épocas predominante de lluvias en el Centro Experimental Pucayacu.
- Por ser esta investigación una base para establecer programas de fertilización y por ser el sachá inchi un cultivo perenne que se encuentra en constante producción, se recomienda evaluar el comportamiento nutricional del cultivo por lo menos durante el primer año de producción motivo por el que no se debe descuidar la nutrición de este.
- Investigar la absorción de los demás nutrientes principales (N, P y K) y los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Mo, B, Cl, Zn) para determinar su comportamiento dentro de la planta, siendo estos esenciales para saber cuándo y cuánto darle a la planta lo que necesita, diseñando e implementando los programas de fertilización adecuados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, G. (2005). *Informes de Resultados de investigación*. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología. E.E –“El Porvenir”. Años 1989 – 1995.
- Arévalo, G. (1995). *El cultivo del Sacha inchi (Plukenetia volubilis L) en la Amazonia*. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología de la Estación Experimental Agraria “El Porvenir”- Tarapoto. San Martín-Perú.
- Bailey, L. (1949). *Manual of cultivated plants*. The Mac Millan Co. NewYork. 118p
- Barber, S.A. (1974). *Influence of the plant root on ion movement in soil*, pp. 525-564. In: E.W. Carson (ed.). *The plant root and its environment*. University Press of Virginia, Charlottesville.
- Barber, S.A. (1995). *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. 2nd Ed. Wiley, New York.
- Barrera, S. (2002). *Laboratorio nutrición mineral (en línea)*. Concepción, AR. Consultado 29 de Agosto 2012. Disponible en [http://www2 .udec.cl/~lebravo/Ejercicios/Guias/Lab3nm.doc](http://www2.udec.cl/~lebravo/Ejercicios/Guias/Lab3nm.doc)
- Bertsch, F. (1993). *Curvas de absorción de nutrimentos en aráceas*. In: *Taller sobre aplicaciones de la biotecnología en raíces, tubérculos y pejibaye*. CIA. UCR. San José, Costa Rica.
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrientes por lo cultivos*. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 6 - 22
- Brack, A. (1999). *Plukenetia volubilis L. Diccionario Enciclopédico de plantas útiles del Perú*. PNUD. Cuzco – Perú. 550 p.
- Brako, L.; Zarucchi, J. (1993). *Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms in Peru*. Mongr. Missouri Bot. Gard. 45
- Cachique, D. (2006). *“Estudio de la Biología Floral Y Reproductiva en el Cultivo De Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.)”*. Tesis Ing. Agrónomo, Tarapoto, Perú. Universidad Nacional de San Martín.
- Cakmak, I. (2000). *Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species*. *New phytologist*, Cambridge 146: 185 – 205.
- Cakmak, I and A. M. Yazici (2010). *Magnesium: A forgotten element in crop production*.

- Castro, P. (2007). *Sacha inchi: Situación actual del cultivo y oportunidades de mercado*. Dirección de Promoción Agraria de San Martín. – Dirección Regional Agraria de San Martín.
- Clarkson, D.T. and Sanderson, J. (1978). *Sites of absorption and translocation of iron in barley roots*. Tracer and microautoradiographic studies. *Plant physiol.* 61, 731 – 736.
- Dieter, P. (1984). *Calmodulin and calmodulin-mediated process in plants*. *Plant Cell Environ.* 7: 371-380.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2002). *Los fertilizantes y su Uso*. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Cuarta edición, revisada, FAO e IFA. Roma.
- Fernández, A.; Maldonado, M. (2000). *Absorción y transporte de nutrientes minerales*. En: J. Azcón-Bieto, M. Talón fundamentos de Fisiología Vegetal. Eds. Interamericana McGraw-Hill EUB Madrid.
- Fertiberia. (2000). *Los Micronutrientes y su utilización en la agricultura (en línea)*. Valladolid, ES. Consultado 20 Agosto 2 012. Disponible en [http:// www.fertiberia.com/](http://www.fertiberia.com/)
- Figuroa, Z. (1992). *Los diversos cultivos del Perú*. Ed. FUNDEAGRO. 134 p.
- García, M. (2010). *Curso Horticultura*. Nutrición de Plantas. Facultad de Agronomía. Centro Regional Sur.
- Gettier, S.W.; Martens, D.C.; Brumback, Jr. T.B. (1985). *Timing of foliar manganese application for correction of manganese deficiency in soybean*. *Agron. J.* 77:627-630.
- Guerrero, J (2012). *Nutrientes en las plantas*. Investigador en el Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, México.
- Guillen, M. D.; Ruiz, A.; Cabo, N.; Chirinos, R.; Pascual, G. Characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and HNMR. Comparison with linseed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2003, 80, 755–762.
- Gillespie, L. (1993). *A synopsis of neotropical Plukenetia (Euphorbiaceae) including two new species*. *Systematic Botany* 18 (4): 575 – 592.
- Hamaker, B. (1992). *Perfiles de aminoácidos y ácidos grasos del "maní del inca" (Plukenetia volubilis L.)*.

- Haynes, J.L. y Robins, W.R. (1947). *Calcium and boron as essential factors in the root environment*. J.Amer. Soc. Agron. 40:795-803.
- Hill, J. (1980). *The remobilization of nutrients from leaves*. J. Plant Nutr. 2:407-444.
- IPNI, (2012). *Instituto Internacional de Nutrición Vegetal*. International Plant Nutrition Institute. (Absorción aproximada de nutrientes por las plantas (parte 1). disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/\\$webindex](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex).
- Jeschke, W.D.; Atkins, C.A.; Pate, J.S. (1985). *Ion circulation via phloem and xylem between root and shoot of nodulated white lupin*. J. Plant Physiol. 117:319-330.
- Jiao, Y.; Xiang, H.; Li, G.; Cai, Q. (2012). *Dry-season irrigation and fertilisation affect the growth, reproduction, and seed traits of Plukenetia volubilis L. plants in a tropical region*.
- Juarez, E. (2007). *Informe de Consultoría*. Estudio sobre sistematización de avances de investigación y propuesta de un modelo productivo competitivo para la Producción de Sacha Inchi en la Región San Martín.
- Jungk, A.O. (1991). *Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface*. pp. 455-481. In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker, New York.
- Koontz, H.V. and Foote, R.E. (1966). *Transpiration and calcium deposition by unifoliate leaves of Phaseolus vulgaris differing in maturity*. Physiol. Plant. 19, 313 – 321.
- Landis, T.D. (1989). *Mineral nutrients and fertilization*. In: Landis, T.D; Tinus R.W; McDonald, S.E; Barnett, J.P. *The Container Tree Nursery Manual, Volume 4*. Agric. Handbbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1-67
- Loneragan, J.F. and Snowball, K. (1987). *Calcium requeriments of plants*. Aust. J. Agric. Res. 20, 465 – 478.
- Long, P., Zhu, G., Naidu, L.; Ort, R. (2006). *Can improvement in photosynthesis increase crop yields?* Plant, Cell and Environment, 29, 315–330.
- Loué, A. (1988). *Los microelementos en agricultura*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 354 p.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrición mineral de plantas*. Sao Paulo: editora agronómica ceres. 631p.

- Manco, E. (2006). *Cultivo de Sacha inchi*. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología de la Estación Experimental Agraria “El Porvenir”-Tarapoto. San Martín-Perú.
- Manco C, E. (2007). *Resultados de Investigaciones de Sacha Inchi (plukenetia volubilis l-) Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología EEA el Porvenir de Tarapoto*. Ponencia en Bionegocios-Tarapoto –Perú. 21/06/2007
- Marschner, H. (2003). *Mineral nutrition of higher plants*. Capítulo 13. Nutrient availability in soils. 2nd Edition. Academic Press. London. UK.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Mengel, K. & Kirkby, E. (1987). *Principios de nutrición vegetal*. 4a. Edición. International Potash Institute Schneidergasse 27, P.O. Box 1609. ISBN: Nr. 3 – 906 535 03 7.
- Merino Z. C; Sotero S. V; Del Castillo T. D; Vásquez R. G; Cachique H. C. y Vásquez O. P. (2008). *Caracterización química de nueve ecotipos de Plukenetia volubilis L. de los departamentos de Loreto y San Martín*.
- Mostacero, J; Mejia, F y Gamarra, O. (2002). *Taxonomía de las Fanerogamas Útiles del Perú*. Volumen I. CONCYTEC. Trujillo-Perú. 667 p.
- Noriega, H.; Vásquez, G.; Sánchez, J.; Torres, E.; Ruiz, M. (2010). *Estudio de compatibilidad de cinco ecotipos promisorios de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en la Región San Martín – Perú*.
- Onern, (1992). “*Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Bajo Mayo*”. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima – Perú.
- Peil, R. M. y Galvez, J. L. (2005). *Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero*. Agrociencia. 11(1):5-11.
- Quiminet. (2007). *La absorción del magnesio por las plantas*. <http://www.quiminet.com/articulos/la-absorcion-del-magnesio-por-las-plantas-17604.htm>.
- Rincón, L.; Sáez, J.; Balsalobre, E.; Pellicer, C. (1994). *Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero*. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 10(1):47-58.

- Rodríguez, A.; Corazón, M.; Cachique, D.; Mejía, K.; Del Castillo, D.; Renno, J.; García, C.; (2010). *Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats) de especies del género Plukenetia (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie*. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biología/biologiaNEW.htm>
- Ruiz, A. (2010). *Characterization of Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil by FTIR spectroscopy and HNMR*. Comparison with linseed oil.
- Russell, R.S. (1977). *The soil environment*, pp. 143-168. In: Plant root systems. McGraw-Hill, London.
- Russell, R.S. and Clarkson, D.T. (1976). *Ion transport in roots systems*. In. N. Sunderland: Perspectives in Experimental Biology. Vol. 2. Botany, p. 401 – 411, Pergamon Press, Oxford and New York.
- Salas, R. (2002). *Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar*. Fertilización Foliar: Principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. 7 – 18.
- Sabino P. H, Lavres J. J, y Ferreira de M. M. (2007). *Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades*.
- Salisbury, F y Ross, C. (2000). *Fisiología Vegetal*. Primera edición. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 759 Págs.
- Sánchez, J. (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas*. Conceptos básicos. FERTITEC S.A.
- Sánchez, R.; Amiquero, B. (2004). *Manual de cultivo de sachá inchi*. Agroservicios. LIMAG. Lima. 46 pp
- Sancho, H. (1999). *Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización*. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Informaciones Agronómicas 36:11–13
- Schimansky, C. (1973). *Investigations into the translocation of magnesium (Mg-28) in sunflowers*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 136, 68 – 81.
- Semino, A., Rojas, C.; Zapata, S. (2008). *Protocolo del Cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Ph.D. Thesis. La Merced University, Cusco, Perú.

- Sequi, P. y Piaggese, A. (2004). *Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (Istituto Sperimentale para la Nutrición de las Plantas)*. © Copyright -Valagro SpA. Imp. Meta SRL – Corso Trento e Trieste, 43 – 66034 Lanciano (Ch). Italia.
- Shaviv A., R.L. Mikkelsen. (1993). *Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation—a review*. Fert. Res. 35:1-12.
- Soukup, J. (1987). *Vocabulario de los Nombres Vulgares de la Flora Peruana y Catálogo de los Géneros*. Editorial Salesiana. Lima-Perú. 436 p.
- Steucek, C.G. and Koontz, H.V. (1970). *Phloem mobility of magnesium*, *Plant Physiol.* 46, 50 – 52.
- Tisdale S. y Nelson W. (1982). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Editorial Uteha. México, D.F.
- Ulloa, C.; Zarucchi, J.; León, B. (2004). *Diez años de adiciones a la flora del Perú: 1993—2003*. Arnaldo, Ed. Especial 7—242
- Ulloa, M; Abreu, C. y Paz, A. (2001). *Disponibilidad de macro y micronutrientes en un suelo de cultivo de Mabegondo (A Coruña)*. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*. Coruña. Vol. 26: 243-254.
- Valles, C. (1995). *Sacha Inchi, Importante Oleaginosa Selvática*. Pura Selva. 40 – 41
- Vinicio, M. (2002). *Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje*. Fertilización Foliar: Principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. 1 – 6.
- Wiersum, I.K. (1979). *Calcium content of the phloem sap in relation to the Ca status of the plant*. *Acta Bot. Neerl.* 28, 221 – 224.

## ANEXOS

### Croquis del experimento

#### DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR



