

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE
Plukenetia volubilis L. (SACHA INCHI) EN SU
SEGUNDO CICLO DE PRODUCCIÓN EN LA PROVINCIA
DE SAN MARTÍN**

Tesis

**Para optar el Grado Académico de:
MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS,
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**

Roger Aban Hader Pichis Garcia

TINGO MARÍA – PERÚ

2021



VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO
DE MAESTRO

I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Facultad de Agronomía

Título de Tesis : ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE *Plukenetia volubilis* L. (SACHA INCHI) EN SU SEGUNDO CICLO DE PRODUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SAN MARTÍN

Autor : ROGER ABAN HADER PICHIS GARCIA

Asesor de Tesis : Dr. José W. Zavala Solórzano

Maestría y Mención : Ciencias Agrícolas / Mención Agricultura Sostenible

Programa de Investigación: Suelos y fertilizantes

Línea (s) de Investigación : Fertilidad, clasificación, recuperación y manejo de suelos

Eje temático de Investigación : Determinar la absorción de nutrientes en del Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en su segundo ciclo de producción.

Lugar de Ejecución : Tarapoto, San Martín

Duración : Octubre de 2018 – hasta Octubre del 2019

Financiamiento : **27587.00**

FEDU : NO

Propio : SI

Otros : SI



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 03-2021-EPG-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 10:00 a.m., del día lunes 31 de mayo del 2021, reunidos en el aula virtual, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE *Plukenetia volubilis* L. (SACHA INCHI) EN SU SEGUNDO CICLO DE PRODUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SAN MARTÍN"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agrícolas, mención Agricultura Sostenible, Ing. **ROGER ABAN HADER PICHIS GARCIA**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 12:09 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

M. Sc. **FAUSTO SILVA CARDENAS**
Presidente del Jurado

M. Sc. **JORGE LUIS ADRIAZOLA DEL AGUILA**
Miembro del Jurado



M. Sc. **CEILA PAQUITA LAO OLIVARES**
Miembro del Jurado

Dr. **JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO**
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme lograr esta gran meta, por mostrarme su ayuda todos los días y ayudarme a comprender lo esencial que es confiar en él y sobre todo que nada es imposible.

A mis padres LOLY GARCÍA y ROGER PICHIS, porque siempre confiaron en mí e impulsaron a ser siempre un gran ser humano y profesional, les dedico este logro, porque así les demuestro por lo menos un poquito lo mucho que significan para mí.

A mi hija, MARIANA CAMILA, por recordarme, siempre lo bonito de la vida y ser el soporte en todo momento, para lograr mis metas y demostrarme que las bendiciones de Dios, siempre me acompañarán.

A MARILYN RIMACHI por las palabras de aliento, y ánimo para continuar adelante y lograr sustentar ésta investigación, también a JOSÉ LUNA, por haberme brindado su tiempo y apoyo en todo momento para poder superar cada etapa de esta gran meta.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, por permitirme realizar el presente estudio de Maestría y poder obtener el Grado de Magister.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana – IIAP San Martín, por permitirme usar sus instalaciones y campo experimental del cultivo de Sacha Inchi, como aporte No Monetario en el Proyecto Sacha Inchi.

A la Dirección Regional De Agricultura San Martín (DRASAM), por brindarme el apoyo monetario, para poder desarrollar actividades en este estudio y poder aportar alternativas de cambio sostenible y sostenibilidad a los que más lo necesitan en mi Región.

A mi Asesor el Dr. José Wilfredo Závala Solórzano, por brindarme las facilidades del caso y poder realizar el presente estudio de posgrado.

Al Ing. M. Sc. Fausto Silva Cárdenas, presidente y jurado de la tesis, por su revisión académica, técnico-científico y las facilidades brindadas para el desarrollo del presente trabajo.

A los miembros del jurado de tesis, Ing. M.Sc. Jorge Luis Adriazola del Águila y la Ing. M. Sc. Ceila Paquita Lao Olivares por su apoyo en la revisión, sugerencias y aporte al presente trabajo de investigación.

A todas las personas que formaron parte de esta etapa importante de mi vida que me inspiraron, motivaron y enseñaron a nunca desistir.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Origen y distribución del sachá inchi.....	3
2.2. Clasificación taxonómica	4
2.3. Descripción morfológica.....	4
2.4. Fenología del cultivo	5
2.5. Variabilidad genética del sachá inchi	6
2.6. Fertilización en el cultivo de sachá inchi	7
2.7. Nutrición mineral de las plantas	7
2.8. Importancia de los elementos químicos en la fisiología de la planta ..	8
2.9. Movimientos de los iones del suelo a la raíz.	9
2.10. Asimilación de nitrógeno en las plantas	9
2.11. El fósforo (P) en el crecimiento de las plantas	10
2.12. El potasio (K) en el crecimiento de las plantas.....	11
2.13. Procedimiento básico para efectuar estudios de absorción de nutrientes	12
2.14. Curvas de absorción	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Descripción del área de investigación.....	15
3.2. Materiales y equipos	15
3.3. Metodología.....	16
3.4. Componentes de estudio	22

3.5. Tratamientos en estudio	22
3.6. Diseño experimental	22
3.7. Croquis de campo experimental	24
3.8. Parámetros evaluados	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	27
V. CONCLUSIONES.....	43
VII. BIBLIOGRAFÍAS	45
VIII. ANEXOS	51

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
1. Dosis de fertilizantes inicial utilizada para el primer ciclo de producción para plantas de sachá inchi en Kg/ha.	18
2. Dosis empleada de fertilizantes para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en Kg/ha.	18
3. Dosis empleada de fertilizantes para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en g/planta.	18
4. Dosis fraccionadas de fertilizantes a plantas de sachá inchi en g/planta para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en g/planta.	19
5. Distribución de tratamientos instalados en campo experimental.	22
6. Esquema del análisis de variancia (ANVA).	23
7. Análisis de varianza de Nitrógeno absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	63
8. Análisis de varianza de Fósforo absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	64
9. Análisis de varianza de Potasio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	64
10. Análisis de varianza de Calcio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	64
11. Análisis de varianza de Magnesio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	65

12. Análisis de varianza de Sodio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.....	65
13. Análisis de varianza de Zinc absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.....	65
14. Análisis de varianza de Manganeso absorbido por plantas de sachá inchi en segundo ciclo de producción.	66
15. Análisis de varianza de Cobre absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.....	66
16. Análisis de varianza de Hierro absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.....	66
17. Análisis de varianza de Boro absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.....	67
18. Análisis de varianza de Materia Seca de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	67
19. Análisis de varianza del Rendimiento de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
1. Foto satelital del área experimental, localidad de Bello Horizonte– IIAP–SM. 2019-Fuente: Google Maps.	15
2. Croquis de campo experimental.	24
3. Macronutrientes absorbidos por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).	30
4. Curva de absorción de Nitrógeno en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	30
5. Curva de absorción de Fósforo en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	31
6. Curva de absorción de Potasio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	31
7. Curva de absorción de Calcio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS –545 DDS.	32
8. Curva de absorción de Magnesio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.	32
9. Micronutrientes absorbidos por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).	36
10. Curva de absorción de Sodio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	36
11. Curva de absorción de Zinc por plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.	37

12. Curva de absorción de Manganeso en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	37
13. Curva de absorción de Cobre en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.	38
14. Curva de absorción de Hierro en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.	38
15. Curva de absorción de Boro en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.	39
16. Materia Seca por tratamiento en Kilogramo de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).	40
17. Frutos cosechados por tratamiento de 100 plantas de sachá inchi en Kilogramo, evaluadas en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).	42
18. Frutos cosechados por tratamiento de 100 plantas de sachá inchi en Kilogramo por Hectárea, evaluadas en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).	42
19. Reporte de caracterización del análisis inicial de suelo.	52
20. Reporte de caracterización del análisis final de suelo.	52
21. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 1).	53
22. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 2).	53
23. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 3).	54
24. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 1).	54
25. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 2).	55

26. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 3).....	55
27. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 1).....	56
28. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 2).....	56
29. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 3).....	57
30. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 1).....	57
31. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 3).....	58
32. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 2).....	58
33. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 1).....	59
34. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 2).....	59
35. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 3).....	60
36. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 1).....	61
37. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 2).....	61
38. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 3).....	61
39. Composición de ácidos grasos de <i>Plukenetia volubilis</i>	62
40. Contenido en mg/g de proteína de dos especies de Sacha inchi.....	63
41. Campo experimental, mostrando letreros y descripción de tratamientos.....	68
42. Identificación del T ₁	68
43. Identificación del T ₂	68
44. Identificación del T ₃	68
45. A y B. Visita y verificación de jurado a proyecto de tesis.	69
46. Tesista con letrero de Tesis.....	69
47. Tesista con cultivo de sachá inchi.....	70
48. Sachá inchi con frutos maduros e inmaduros.	70

49. A. Calles de parcela desmalezadas. B. Plantas frondosas de Sacha Inchi. C. Plantas muestreadas (Espacios entre plantas).....	71
50. Foto panorámica de campo experimental vista de arriba.....	71

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en un campo experimental de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), propiedad del IIAP – San Martín (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana), en la Provincia y Región de San Martín. El objetivo fue conocer la absorción de nutrientes del *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), en su segundo ciclo de producción en la provincia de San Martín, usando plantas de Sacha inchi de 221 DDS, (7 meses de edad), ecotipo Mishquiyacu. Se consideró 3 tratamientos, distribuidos en un DBCA con 4 bloques o repeticiones, utilizando como fuentes nutritivas inorgánicas al Nitrato de amonio (NH_4NO_3), Súper fosfato triple (P_2O_5) y Cloruro de Potasio (K_2O), estas fuentes fueron aplicadas considerando, las siguientes dosis de fertilización para los tratamientos; T₁, Dosis baja (0 - 0 - 0); T₂, Dosis media (22,75 - 2,2 - 15,86) y T₃, Dosis alta (39,6 – 4,73 – 26,21) en forma fraccionada y expresada en gramos/planta. Se realizó 3 muestreos de partes botánicas (Tallo, Hojas y Frutos) de plantas de sachá inchi, el primero a 240 días después de la siembra (DDS), el segundo a 455 DDS, y el tercer muestreo a los 545 DDS. Para la obtención de nuestros resultados, se evaluó, la curva de Absorción de nutrientes (N, P, K, Mg, Ca, Na, Zn, Mn, Fe, Cu y B), la curva de crecimiento, mediante la Materia Seca acumulada y el rendimiento del cultivo, durante 10 meses. Los resultados obtenidos de este estudio demuestran que el Tratamiento 3, obtuvo los mayores valores, en cuanto a los parámetros evaluados, haciendo de este estudio, un gran aporte para la generación de conocimientos e información sobre nutrición vegetal y requerimientos nutricionales en sachá inchi.

PALABRAS CLAVE: *Plukenetia volubilis* L., sachá inchi, nutrición mineral, absorción de macronutrientes, absorción de micronutrientes.

ABSTRACT

This work was developed in an experimental field of *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), owned by IIAP - San Martín (Research Institute of the Peruvian Amazon), in the Province and Region of San Martín. The objective was to know the nutrient absorption of the Cultiva de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), in its second production cycle in the province of San Martín, using Sacha inchi plants of 221 DDS, (7 months old), Mishquiyacu ecotype. We considered 3 treatments, distributed in a DBCA with 4 blocks or repetitions, using as inorganic nutritional sources Ammonium Nitrate (NH_4NO_3), Super Triple Phosphate (P_2O_5) and Potassium Chloride (K_2O), these sources were applied considering the following fertilization dose for treatments; T₁, Low dose (0 - 0 - 0); T₂, Medium dose (22.75 - 2.2 - 15.86) and T₃, High dose (39.6 - 4.73 - 26.21) in fractional form and expressed in grams / plant. Three samples of botanical parts (Stem, Leaves and Fruits) of sachá inchi plants were made, the first at 240 days after planting (DDS), the second at 455 DDS, and the third sampling at 545 DDS. To obtain our results, the Nutrient Absorption curve (N, P, K, Mg, Ca, Na, Zn, Mn, Fe, Cu and B), the growth curve, through the accumulated Dry Matter was evaluated and crop yield, for 10 months. The results of this study show that Treatment 3, obtained the highest values, in terms of the parameters evaluated, making this study a great contribution for the generation of knowledge and information on plant nutrition and nutritional requirements in sachá inchi

KEYWORDS: *Plukenetia volubilis* L., sachá inchi, mineral nutrition, macronutrient absorption, micronutrient absorptio

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha Inchi), alcanzó una economía creciente y bastante importante, en la región de San Martín (DRASAM, 2017), gracias a sus excepcionales propiedades nutricionales, que presenta, ya que tiene 54% de aceites y un 33% de proteínas, este cultivo tiene, también, 48.6% de omega 3, un 36 % de omega 6 y un 8% de omega 9, haciendo del sachá inchi, un producto excepcional de gran potencial, en todos los mercados nacionales e internacionales, pero, su industrialización y cultivo sigue siendo precaria y nada tecnificado (ESAN, 2009), e incluso la Unión Europea lo incorporó a sus dietas alimenticias, (NORIEGA, *et al.*, 2010). Se cuenta en la actualidad con 51 ecotipos, que tienen una amplia variabilidad genética, que se pueden encontrar en varios departamentos, tales como, San Martín, Ucayali, Junín. Loreto, Cusco y Huánuco, (CACHIQUE, 2006).

A pesar de la creciente importancia de este cultivo, siguen existiendo limitados conocimientos e información para el total aprovechamiento en forma sostenida, de este cultivo; cabe mencionar que en la actualidad, se cuenta con información sobre la extracción de macro nutrientes en el primer año (BALTA, *et al.*, 2015), pero no se cuenta con la información para el segundo ciclo de producción, encontrándose una total falta de información en trabajos, de esta naturaleza en nutrición del cultivo del sachá inchi.

Por lo cual, el Proyecto Mejoramiento de la Oferta del Servicio de Transferencia Tecnológica en el IIAP – San Martín (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - Tarapoto) y también la DRASAM (Dirección Regional de Agricultura San Martín – Tarapoto), dentro de sus componentes de investigación, ejecutaron el estudio sobre curvas de absorción de nutrientes en

el segundo ciclo de producción del cultivo de sachá inchi, con el propósito de definir las exigencias nutricionales del cultivo, logrando maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes, lo cual nos garantizará cultivos de calidad y buenos rendimientos, en cada cultivo, además generar conocimientos e información sobre nutrición vegetal y requerimientos nutricionales en sachá inchi.

Cabe mencionar que este estudio de absorción de nutrientes, contabiliza, la cantidad de extracción o consumo de macro y micro nutrientes del sachá inchi para lograr completar con normalidad su segundo ciclo de producción. Este estudio, contribuirá a determinar programas de fertilización. En conclusión, permitirá conocer la cantidad de nutrientes extraídos por este cultivo y poder producir un rendimiento esperado, en determinado tiempo.

Objetivo general:

Conocer la absorción de nutrientes del *Plukenetia volubilis* L. (Sachá Inchi) en su segundo ciclo de producción en la provincia de San Martín.

Objetivos específicos:

1. Determinar la curva de absorción de nutrientes del cultivo de sachá inchi, en su segundo ciclo de producción en la provincia de San Martín
2. Determinar la curva de crecimiento del cultivo de sachá inchi, en su segundo ciclo de producción en la provincia de San Martín
3. Estimar el rendimiento del cultivo de sachá inchi, en su segundo ciclo de producción en la provincia de San Martín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución del sachá inchi

Según ARANDA (2010), ésta liana es de rápido crecimiento, pertenece al grupo de las Euphorbiaceae, engloba plantas que pueden ser, anuales, medicinales, industrial, alimentaria e incluso plantas ornamentales, éstas plantas principalmente, tienen una sustancia lechosa, como el látex y de frutos con tres cápsulas, las plantas del género *Plukenetia*, se distribuyen pantropicalmente, doce de sus especies están en Centroamérica y Sudamérica y otras siete especies, en el Viejo Mundo, en el territorio Peruano se pueden encontrar *P. polyandria* Muell, *P. volubilis* L., *P. brachybotrya* Muell, *P. lorentensis* Ule, y la última que se identificó fue la *P. huayllabambana*. La especie *P. volubilis* L., tiene su hábitat en áreas de vegetación intervenida y también puede, crecer en suelos húmedos, inundados o suelos bajos, en altitudes hasta de 900 msnmm.

Ésta especie, se puede encontrar desde las Antillas menores, Surinam y el sector noroeste de la cuenca amazónica en los países de Venezuela y Colombia, pudiendo llegar hasta Ecuador, Bolivia, Perú, y también Brasil. Se ha reportado ésta especie, en departamentos, como Amazonas, Cusco, Junín, Loreto, Pasco, San Martín y Madre de Dios, departamentos ubicados en el país de Perú (ARANDA, 2010).

En la región San Martín, en el País de Perú, se puede encontrar, sachá inchi, a lo largo de la Cuenca del Huallaga hasta la ciudad de Yurimaguas, también en las provincias del Alto Mayo, Bajo Mayo, Sub Cuenca del Cumbaza e incluso en áreas del sector de la provincia de Lamas – en el Shanusi (MANCO, 2006).

2.2. Clasificación taxonómica

Según (ITIS, 2020), indica la siguiente clasificación taxonómica para el cultivo de sachá inchi es:

Reino : Plantae

División : Tracheophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Malpighiales

Familia : Euphorbiaceae

Género : Plukenetia

Especie : Volubilis Linneo.

Nombre científico : *Plukenetia volubilis* L.

Nombre común : Sachá Inchi, Maní del Monte.

2.3. Descripción morfológica

MANCO (2006), hace la siguiente descripción morfológica:

a. Hábito: Tienen hábito trepador, crece indeterminadamente, es voluble, tallo semi leñosa.

b. Hojas: Tienen un final puntiagudo y su base es plana, tipo semi-arriñonada. verde oscuras, alternados, ovoides – a elípticas, con bordes pinnatinervias y aseruladas, con tamaños de 09 - 16 cm de largo y 06 - 10 cm ancho.

c. Flores: Este cultivo, es alógama, porque tiene polinización cruzada, en este cultivo se determinaron 02 tipos de flores, las cuales, pueden ser masculinas y femeninas.

- **Masculinas:** Las flores de esta especie, se agrupan en racimos, siendo de color blanquecinos y pequeñas.

- Femeninas: Las flores femeninas, están en la base del racimo y se encuentran en forma lateral, agrupadas de una a dos flores.

d. Fruto: Al fruto de esta especie, se le denomina, cápsula, y miden aproximadamente 3.5 a 4.5 cm de diámetro, y tienen 04 lóbulos, que son aristados o tetralobados, en cada fruto, generalmente, hay 4 semillas, pero, algunos ecotipos, pueden tener 5 a 7 lóbulos, en cada cápsula.

e. Semilla: Son ovaladas, marrón oscuro, son ligeramente abultadas en el centro y aplastadas hacia los bordes. El diámetro fluctúa entre 1.3 y 2.1 cm, según los ecotipos.

2.4. Fenología del cultivo

MANCO (2006), menciona que la fenología es la siguiente:

En siembra con almácigo:

- Los días que germinan las semillas, es de 11 a 14 días. (días después de almácigo).
- Los días que emergen las hojas fotosintetizadoras son:

El 1er. par: Entre 16 y 20 d.d.a, el 2do. Par, a los 28 y 42 días después del almácigo, luego el tercer par de hojas, aparecen a los 45 y 59 días.

Después de ser trasplantadas:

La aparición de las guías se da a los 20 y 41 días después del trasplante, el inicio de la floración se da a los 86 y 139 días después del trasplante. El inicio de la fructificación del sachá inchi, es a los 119 y 182 días después del trasplante. Generalmente el inicio de la cosecha es a los 202 a 249 días.

2.5. Variabilidad genética del sachá inchi

A través de los programas de mejora genética, se obtienen variedades nuevas de plantas, de la mano con el uso de la biotecnología. (ROSSITER *et al.*, 2000), según lo investigado, se registraron 51 ecotipos de sachá inchi, cada una con su variedad genética respectiva, dichos ecotipos, están distribuidos en regiones como San Martín, Loreto, Cusco, Ucayali y Huánuco (CACHIQUE, 2006), además, se observa, una variabilidad genética alta, morfológica y fitoquímica, por dicha característica, que presenta el cultivo de sachá inchi, se confunde muchas especies de este mismo género.

Según CORAZÓN *et al.* (2009), Actualmente el Instituto Nacional de Investigación Agraria-INIA, conocida como estación experimental "El Porvenir" tiene un Banco Nacional de Germoplasma de sachá inchi, el cual cuenta con 51 accesiones y ecotipos de sachá inchi, las cuales fueron colectados en distintos departamentos de la amazonia peruana, se conoce, que los bancos de germoplasma, actualmente son herramientas para poder conservar especies silvestres de flora, de quienes, muchas veces se conoce muy poco, pero sabe con certeza que, en ellos se puede encontrar el pool genético de una determinada especie en interés.

Para la Amazonia Peruana, en el año 2008, se describieron, cuatro especies, de acuerdo a sus características morfológicas, los cuales fueron: *P. brachybotry* Müll. Arg., *P. volubilis* L., *P. lorentensis* Ule, y *P. polyadenia* Müll. Arg. (RODRÍGUEZ *et al.*, 2010).

2.6. Fertilización en el cultivo de sachá inchi

En la actualidad no se ha realizado estudios referidos a temas de fertilización en el cultivo del sachá inchi, ni se cuenta con fórmulas o programas de fertilización establecidas para este cultivo, sin embargo, sacando algunas conclusiones por su distribución, se puede inferir que este cultivo, tiene poca exigencia nutricional, según reportes de (MANCO, 2006), la Estación Experimental El Porvenir (INIA - Tarapoto), utilizaron las dosis de fertilización, siguientes:

- Utilizan Grow More 32- 10- 10 (3 kg ha^{-1}), de 2-3 aplicaciones cuando las plantas están en vivero.

- Realizan aplicaciones con nitrógeno ($1 - 1.5 \text{ Kg ha}^{-1}$), aplican también Grow More 10 - 55 - 10 ($2 - 4 \text{ kg ha}^{-1}$) o Quimifol PK 970 Plus ($1 - 2 \text{ kg ha}^{-1}$), cuando empieza la floración e inicio de aparición de frutos, para las plantas en campo definitivo.

- Se realizó, también aplicación de fertilizantes al suelo de NPK (30 g urea + 45 g superfosfato triple + 30 g cloruro de potasio), agregaron humus de lombriz de tierra ($15 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}$).

2.7. Nutrición mineral de las plantas

Nuestro planeta, está compuesto, por un poco más de cien elementos químico, pero muy pocos, de acuerdo a sus virtud y características químicas, forman la materia prima para poder formar las moléculas complejas y biológicas, las mismas que dentro de sus funciones, sostienen que tienen papeles o roles específicos y esenciales, para el desarrollo de las plantas. Estos elementos sólo pueden ser absorbidos, por las plantas, en forma de iones (TAIZ y ZEIGER, 2006).

La FAO (2002), nos dice, que los elementos nutricionales necesarios para las plantas, pueden ser tomados del suelo y aire. Este suministro nutricional, al verse disponible, es fácilmente tomado por los cultivos, por lo tanto crecerán mejor y se obtendrá mejor producción. Por lo contrario, si los suministros, así sea sólo de un nutrimento, es escaso o innecesario, el crecimiento de las plantas será restringido, suprimido o ilimitado, y los rendimientos se verán afectados.

2.8. Importancia de los elementos químicos en la fisiología de la planta

Para que una planta, pueda crecer, nutrirse y sobrevivir, deben hacerlo en un ambiente que tenga iones diluídos en su totalidad, donde logran nutrirse y por lo tanto sobrevivir, gracias a la habilidad, que tienen las plantas de asimilar dentro de ellas iones en concentración, incluso 10 veces mayores que fuera de ellas (TAIZ y ZEIGER, 2006). En el suelo las sustancias, como los iones minerales nutritivos, que tienen bajo peso molecular, alcanzan las raíces de las plantas, gracias a la difusión y al flujo de masa, encontrándose siempre en movimiento, un elemento nutricional, puede actuar como constituyente de una estructura orgánica, como activador de una reacción enzimática, transportador de carga, u osmo-regulador, además un micronutriente puede catalizar, muchas reacciones típicas, en el metabolismo de las plantas e influenciar en la fisiología de las plantas, ya que forman parte de muchas estructuras enzimáticas.

Todo ser vivo, así como las plantas, tienen niveles idóneos, así como mínimos y máximos para tolerar, cada elemento: De acuerdo a la disponibilidad de estos elementos, se pueden determinar el efecto normal o anormal de cada nutrimento, mostrando carencias o excesos, produciéndose muchas veces fenómenos de toxicidad o intoxicación (NAVARRO y NAVARRO, 2013).

2.9. Movimientos de los iones del suelo a la raíz.

MARCHNER (2003), sostiene que, es muy importante que los nutrientes estén disueltos en la solución suelo, para que sean absorbidos fácilmente por las raíces de las plantas. Mayormente los nutrientes absorbidos, son en forma iónica, que se encuentran en los diferentes compuestos del suelo, incluso en algunos casos, las plantas pueden absorber las moléculas orgánicas simples pero casi siempre son procesos, considerados minoritarios, en comparación con los anteriores. En conclusión, todo nutriente o compuesto, podrá ser absorbido, siempre y cuando, estos nutrientes estén en contacto con las raíces (LÓPEZ, 2009).

AZCÓN y TALÓN (2008), THOMPSON y TROEH (2018) estos autores, indica, que los nutrientes son tomados por las raíces, gracias a tres mecanismos; Intercepción radicular, flujo de masas y difusión.

2.10. Asimilación de nitrógeno en las plantas

Según Perdomo, Barbazán y Duran (1994), citado por BALTA (2013), sostienen que el nitrógeno que las plantas absorben, es en forma de nitrato (NO_3^-) y otras veces como amonio (NH_4^+), siempre y cuando las condiciones de los suelos, permitan que las bacterias nitrificantes actúen, se absorberá generalmente, todo el Nitrógeno disponible, en forma de NO_3^- , se debe conocer, también que en situaciones específicas, cuando nos referimos a condiciones anaeróbicas o quizás después de aplicar fertilizantes amoniacales, las plantas absorberán mayores cantidades de amonio (NH_4^+) que nitrato (NO_3^-), este autor, también menciona, que las plantas pueden absorber Nitrógeno, en forma de amonio, cuando las plantas están en etapa de crecimiento, puesto que en ésta

etapa, la temperatura son bajas relativamente, y no se produce rápida nitrificación, cuando la planta va creciendo, ésta va absorbiendo más NO_3^- , incluso en algunos casos, las plantas absorben Nitrógeno, en forma de úrea.

2.11. El fósforo (P) en el crecimiento de las plantas

Según Perdomo, Barbazán y Duran (1994), Citado Por BALTA (2013), el elemento fósforo, puede ser llamado el elemento de la energía, ya que está en las moléculas del ATP o del NADPH, que tienen carácter energético, cabe mencionar, que, en las moléculas del NADPH, el fósforo forma un enlace éster fosfórico con grupos hidroxilos, en las moléculas del ATP, el fósforo, va formar enlaces del tipo anhídrido de ácido ricos en energía, el fósforo además, desarrolla una clave función en la nutrición de las plantas (fotosíntesis), la respiración celular y todo el metabolismo energético, el fósforo juega además, enlaces fosfodiéster, como función estructural, el cual está en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos, también tiene función metabólica, regula la síntesis y transporte de hidratos de carbono, beneficia el crecimiento de raíces, este elemento, es muy móvil, el cual se dispersa muy fácil por las partes de las plantas, como dato, se conoce que el fósforo, dentro de los tejidos vegetales está en un porcentaje, de 0.3-0.5 % en peso seco, además, este elemento, está ligado a moléculas orgánicas, que son de mucho interés, tal es el caso del ácido nucleico, los fosfolípidos, el ATP y otros azúcares del tipo fosfato, pectatos, cuando se refiere a la pared celular, incluido los fitatos, cuando se refiere a semillas y los órganos de reserva, nos mencionan también, que una mínima porción del elemento fósforo, va estar libre, siempre en estado de ión, un 75 %,

se encuentra en las vacuolas y un 25 %, se encuentra en la matriz y los organelos del citoplasma, todo esto manteniendo el equilibrio en ciclos del metabolismo.

2.12. El potasio (K) en el crecimiento de las plantas

Dentro de las plantas, el potasio interviene, en la fotosíntesis, regulando la apertura y cierre de estomas, es decir regula como se absorbe el CO₂. El Potasio activa enzimas y es primordial en la producción de adenosina trifosfato (ATP), la fuente más importante de energía para muchos procesos químicos que tienen lugar en las células de la planta es el ATP, el elemento Potasio juega un papel importante para regular el agua en las plantas, mediante el proceso conocido como osmo-regulación, este proceso, regula la absorción de agua por las raíces de las plantas, así como su pérdida a través de los estomas, es afectado por el potasio, este elemento, además mejora la tolerancia que tienen las plantas, al estrés hídrico y no nos olvidemos que se necesita potasio, también para la síntesis de proteínas y de almidón.

El elemento del potasio, es fundamental en prácticamente todos los procesos de la síntesis de proteínas, también en la síntesis para formar el almidón, el potasio, activa la enzima responsable de este proceso, en realidad el potasio es responsable de la activación de muchas enzimas, relacionadas directamente en el desarrollo de las plantas, Perdomo, Barbazán y Duran (1994), Citado por BALTA (2013).

2.13. Procedimiento básico para efectuar estudios de absorción de nutrientes

BERTSCH (2003), menciona que la relación entre el peso seco de los tejidos y la concentración de nutrientes, determinan la absorción de nutrientes, dichos datos se utilizan una sola vez durante el ciclo de vida del cultivo, de preferencia cuando el cultivo esté en su nivel máximo de absorción, es decir al final de un cultivo, puesto que ya se utiliza solamente datos de los requisitos totales y/o cosecha, con estos procedimientos, se puede obtener datos de distintas etapas fenológicas del cultivo, de preferencia estos datos deben estar asociados a cambios de fenología importantes, para la elaboración de las llamadas curvas de absorción, se puede realizar de plantas entera o de subdivisión de sus tejidos, o partes botánicas como raíces, tallos, hojas, flores y frutos, cualquiera sea el caso, se debe contar con el rendimiento comercial, para poder correlacionarlo con un consumo de nutrientes en concreto.

Cuando se obtiene, los datos en campo es muy fácil y simple, se debe utilizar plantas conservadas es decir de excelentes condiciones y de rendimientos altos, se recomienda determinar las etapas fenológicas más importantes del ciclo del cultivo, que sólo días después de la siembra, se puede dividir las partes de las plantas, en tejidos de importancia (raíces, tallos, frutos, etc.), se debe realizar, por lo menos 3 repeticiones, como mínimo, por cada etapa fenológica y por cada tejido, luego de se debe calcular el peso seco para cada punto de muestreo y por cada repetición, para poder determinar esto, se calcula el peso seco total (Kg/ha) extrapolando el valor obtenido en el área que fue muestreada y llevarlo a una hectárea, algunas veces, en los estudios, podemos utilizar, un nuevo determinado de plantas, para que puedan hacer los muestreos,

para luego extrapolarlo con determinado número de plantas para que sea posible hacer muestreos ya que se procederá a extrapolar, considerando cada número o valor, para llevarlo a la hectárea.

Para elaborar la curva de crecimiento, se debe poner las etapas fenológicas, considerando el tiempo en el eje de las X y el parámetro de peso seco para cada tejido que ha sido muestreado y el total de cada punto en el eje de las Y, cuando ya se cuenta con las muestras tomadas, las cuales deben estar secas, se enviarán al laboratorio para el respectivo análisis de nutrientes absorbidos, en cada tejido botánico muestreado, con esta información se podrá calcular los nutrientes absorbidos por un determinado cultivo, con estos datos, se multiplicará el contenido de nutrientes por el peso del tejido muestreado, para luego proceder a la extrapolación que corresponde a cada elemento correspondiente.

Para realizar los análisis y no se pueda cubrir los costos en su momento, cuando se realice los muestreos, denominados repeticiones, éstas se pueden hacer una sola muestra, para poder hacer los análisis, dichos análisis resultarían, muy económicos, gracias a todos estos datos, se puede dibujar la curva de absorción de nutrientes, del mismo modo que se realiza la curva de la acumulación de materia seca.

2.14. Curvas de absorción

BERTSCH (2005), RAMÍREZ y BERTSCH (2002), estos autores, dicen que, este tipo de estudios, son muy complejos y costosos, ya que permiten afinar apreciablemente los programas de fertilización y abonamientos, estos estudios incluyen procedimientos costosos, como mencionan los autores, porque también

acumulan información valiosa que ayudan a mejorar los programas, para el manejo de la nutrición de los cultivos, además estas curvas permiten conocer la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante un ciclo determinado de un cultivo y su relación con sus diferentes etapas fenológicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de investigación

3.1.1. Ubicación política

Esta investigación fue realizada en una estación experimental, propiedad, del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - San Martín (IIAP-SM), 06° 31' 39,6" S, 76° 17' 58,3" W (-6527663, -76.299513) y 320 msnm, dicho centro experimental, se encuentra localizado en el Centro Poblado Bello Horizonte, distrito de Tarapoto, Provincia de San Martín, Región San Martín.

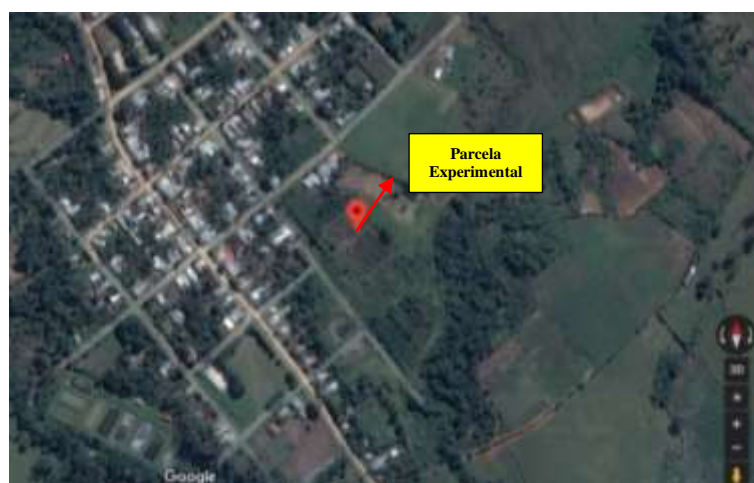


Figura 1. Foto satelital del área experimental, localidad de Bello Horizonte–IIAP–SM. 2019-Fuente: Google Maps.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

- Plantas de sachá inchi (Accesión Mishquiyacu).

3.2.2. Insumos

- Nitrato de amonio NH_4NO_3 (33 % N).
- Superfosfato triple $(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (46 % P).
- Cloruro de potasio KCL (60 % K).

3.2.3. Material de campo

- Palana, cavadora, machete, carretilla, rastrillo y baldes.
- Tijeras podadoras, tijeras, hilo pabilo, wincha (100 m) y rafia.
- Mochila pulverizadora y moto pulverizadora.
- Moto guadaña.
- Bolsas de polietileno y bolsas de papel Kraft.
- Fichas de evaluación y libreta de apuntes.
- Lapiceros, lápiz, plumones indelebles y cinta de embalaje.

3.2.4. Equipos

- Cámara fotográfica.
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Laptop HP Core i3 – modelo 2015
- Balanza de precisión, balanza analítica.

3.3. Metodología

3.3.1. Diseño del lugar experimental

La parcela contó con un área neta de 75 m de largo x 54 m de ancho, la cual fue dividida en 4 bloques, cada bloque tuvo un área de 75 m de largo x 12 m de ancho. En cada unidad experimental se tuvo 3 filas de sachas inchi con distanciamiento de 3 m x 3 m entre plantas y 3 m x 3 m entre hileras haciendo un total de 75 plantas de sachas inchi, los tutores muertos, tuvieron un distanciamiento de 6 m x 6 m entre ellos, además toda la parcela contó con borde creado de plantas de sachas inchi.

3.3.2. Aplicación de fuentes nutritivas

Para el presente proyecto se aplicó dosis de Nitrógeno, en forma de Nitrato de amonio (NH_4NO_3), Fósforo, en forma de Súper Fosfato Triple (P_2O_5) y Potasio, en forma de Cloruro de Potasio (K_2O), Ver Cuadro 1 y 2.

La dosis de fertilizantes se realizó en forma fraccionada (Ver Cuadro 3) y expresada en gramos/planta, 15 días antes del segundo muestreo (455 días después de la siembra) y 15 días antes del tercer muestreo (545 días después de las siembra).

Cabe mencionar que las dosis utilizadas, se adoptó como referencia de resultados obtenidos, en ensayos anteriores, donde se estudió la extracción de nutrientes en el primer ciclo de producción del cultivo de sachá inchi, Cuadro 1, además se tuvo en cuenta las características físicas y químicas del suelo, el cual, presentó una textura franco arenoso (FrA), una pendiente ligeramente inclinada (4 – 8 %), de reacción muy fuertemente ácido (pH: 4.71), nivel bajo en materia orgánica (MO: 0.97%), bajo en fosforo disponible (P: 6.6 ppm), bajo en potasio disponible (K: 45 ppm), nivel bajo en capacidad de intercambio catiónico (CIC: 6.40 meq/100g), sin presencia de materiales calcáreos (CaCO_3 : 0.00%), baja saturación de bases (SB: 57%), sin problemas de aluminio (Al: 0.30 meq/100g), sin presencia de sales y sodio (CE: 0.09 dS/m). Fue un suelo de baja fertilidad debido a que los contenidos de materia orgánica (%), fosforo disponible (ppm) y potasio disponible (ppm) fueron bajos.

Cuadro 1. Dosis de fertilizantes inicial utilizada para el primer ciclo de producción para plantas de sachá inchi en Kg/ha.

Niveles de nutrientes (NPK) en Kg/Ha		
N	P	K
Fórmula	Fórmula	Fórmula
11.5	17.5	15
23	34.5	30
46	69	60

Cuadro 2. Dosis empleada de fertilizantes para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en Kg/ha.

Niveles de nutrientes (NPK) en Kg/Ha			Niveles de fertilizantes (NPK) en Kg/Ha		
N	P	K	NH₄NO₃ (33 % N)	P₂O₅ (46 % P)	K₂O (60 % K)
Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula
0	0	0	0	0	0
22.75	2.2	15.86	68.93	4.78	26.43
39.6	4.73	26.21	120	10.28	43.68

Cuadro 3. Dosis empleada de fertilizantes para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en g/planta.

Niveles de nutrientes (NPK) en g/planta			Niveles de fertilizantes (NPK) en g/planta		
N	P	K	NH₄NO₃ (33 % N)	P₂O₅ (46 % P)	K₂O (60 % K)
Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula	Fórmula
0	0	0	0	0	0
20.48	1.98	14.28	62.06	4.30	23.80
35.65	4.26	23.59	108.03	9.26	39.32

Cuadro 4. Dosis fraccionadas de fertilizantes a plantas de sachá inchi en g/planta para el segundo ciclo de producción de plantas de sachá inchi en g/planta.

Dosis de Fertilización (NPK), en g/planta.							
N°	Fracción	NH ₄ NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		formula	Fracción	formula	Fracción	formula	Fracción
T1	50%	0	0	0	0	0	0
	50%		0		0		0
T2	50%	62.07	31.03	4.3	2.15	23.8	11.9
	50%		31.03		2.15		11.9
T3	50%	108.03	54.02	9.26	4.63	39.62	19.81
	50%		54.02		4.63		19.81

3.3.3. Evaluación del ensayo

La evaluación se desarrolló por un período de 10 meses (300 días). En la cual, se realizó 3 muestreos de partes botánicas (Tallo, Hojas y Frutos) de plantas de sachá inchi, el primero a los 240 DDS, que significa, días después de la siembra, el segundo muestreo a los 455 DDS, y el tercer muestreo a los 545 DDS. Se muestreó en total 108 muestras de partes botánicas

El proyecto contó con plantas de sachá inchi, instaladas. Dichas plantas tuvieron 221 DDS, (7 meses de edad), al momento del inicio de la investigación.

3.3.4. Curvas de absorción y de crecimiento.

Se realizó dos análisis de suelo, uno al inicio y otro al final del trabajo de investigación, la metodología que se utilizó, para realizar los muestreos en el presente estudio fue según Bertsch (2003) y Sancho (1999), citado por BALTA (2013):

1. Una vez seleccionado el cultivo a investigarse, es determinante no combinar plantas con diferencias genéticas, para realizar la misma curva de absorción.

2. Para realizar muestreos en secuencia para biomasa, se debe trabajar con plantas modelo o significativas, para lo cual las plantas a estudiarse deben crecer en condiciones óptimas de suelo y también de manejo, en forma similar.

3. Determinar las etapas de su fenología más resaltantes en el ciclo de un cultivo y cada una de las etapas, seleccionadas, deben ser muestreadas, por lo general, estas etapas, son conocidas como, días después de la siembra o llamados también días de trasplante.

4. Se recomienda, tomar tres muestras, como mínimo de cada una de las etapas determinadas o seleccionadas.

5. Las muestras tomadas, deben dividirse en diversos tejidos botánicos, tales como: raíces, tallos, las hojas, las flores, en frutos, etc. Dependiendo de lo minucioso del estudio.

6. Cuando se colecta las muestras, deberá registrarse el valor del peso fresco, y con ayuda de una estufa, obtener el peso seco, la humedad y el contenido nutricional.

7. Se debe obtener, el peso seco promedio y el contenido nutricional aproximado de cada planta muestreada, para poder determinar la biomasa acumulada y la cantidad de nutrientes extraídos por un determinado cultivo en gramos por planta. Cuando se conoce la población por área, se podrá determinar la extracción de nutrientes en kg ha^{-1} .

8. La materia seca acumulada, de cada muestreo realizado, nos permitirá elaborar la curva de crecimiento y la cantidad de nutrientes extraídos, permitirá elaborar la curva de absorción por cada muestreo realizado.

3.3.5. Rendimiento de sachá inchi

La cosecha se realizó en forma mensual y el rendimiento se pesó en una balanza de precisión y se expresó en Kilogramos/Hectárea (Kg/ha), durante el tiempo que duró la investigación. (Segundo ciclo de producción del sachá inchi).

3.3.6. Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron procesados utilizando programas estadísticos (Infostat-Profesional Versión 1.1 y Excel), para obtener la cantidad de nutrientes extraídos por las partes botánicas del sachá inchi (Tallo, Hoja y Fruto).

Para poder elaborar la curva de absorción, se empleará los datos obtenidos en el laboratorio por cada etapa de muestreo y determinar las cantidades de nutrientes extraídos, durante el segundo ciclo de producción del sachá inchi.

Asimismo, para poder elaborar la curva de crecimiento, se sometió en una estufa, con Temperatura constante de 72 °C, todas las muestras botánicas obtenidas, por tres días, para posteriormente, determinar la cantidad de materia seca acumulada en cada etapa de muestreo.

3.4. Componentes de estudio

Los componentes de estudio en el presente trabajo fueron determinados por:

Material biológico

- Plantas de sachá inchi (Accesión Mishquiyacu).

Dosis de fertilización (N - P - K):

- Sin dosis o testigo (0 - 0 - 0)
- Dosis media (22.75 – 2.2 – 15.86)
- Dosis alta (39.6 – 4.73 – 26.21)

3.5. Tratamientos en estudio

Los Tratamientos establecidos en el presente estudio es el siguiente.

Cuadro 5. Distribución de tratamientos instalados en campo experimental.

Bloques	Tratamiento	Descripción de tratamiento
I	T1	Plantas sin fórmula de fertilización (Testigo)
	T2	Plantas fertilizadas con dosis media de fertilización
	T3	Plantas fertilizadas con dosis alta de fertilización
II	T1	Plantas sin fórmula de fertilización (Testigo)
	T2	Plantas fertilizadas con dosis media con fertilización
	T3	Plantas fertilizadas con dosis alta con fertilización
III	T1	Plantas sin fórmula de fertilización (Testigo)
	T2	Plantas fertilizadas con dosis media de fertilización
	T3	Plantas fertilizadas con dosis alta de fertilización
IV	T1	Plantas sin fórmula de fertilización (Testigo)
	T2	Plantas fertilizadas con dosis media de fertilización
	T3	Plantas fertilizadas con dosis alta de fertilización.

3.6. Diseño experimental

El Diseño estadístico adoptado para la investigación fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), el cual estuvo constituido de tres tratamientos y cuatro bloques (repeticiones). Cada hilera de tratamientos, tuvo

25 plantas de sachá inchi, haciendo un total de 75 plantas por bloque y 300 plantas para todo el estudio. Para la comparación de las medias de los tratamientos se realizó con la prueba de Scott-Knott a un nivel de significación de $\alpha=0.05$. Ver Cuadro 5.

Cuadro 6. Esquema del análisis de variancia (ANVA).

Fuente de Variabilidad	GL
Bloque	3
Tratamientos	2
Error	6
Total	11

Modelo aditivo lineal: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$

Dónde:

Y_{ij} = Es la respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente a la j-ésimo bloque al cual se le aplicó el i-ésimo tratamiento.

μ = Es el efecto de la media general.

T_i = Es el efecto del i-ésimo tratamiento

β = Es el efecto del j-ésimo bloque

e_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental estimado en la unidad experimental correspondiente al j-ésimo bloque al se aplicó el i-ésimo tratamiento.

Para:

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ tratamientos

$j = 1, 2, 3, 4$ bloques.

3.7. Croquis de campo experimental

El croquis del campo experimental tuvo las siguientes características:

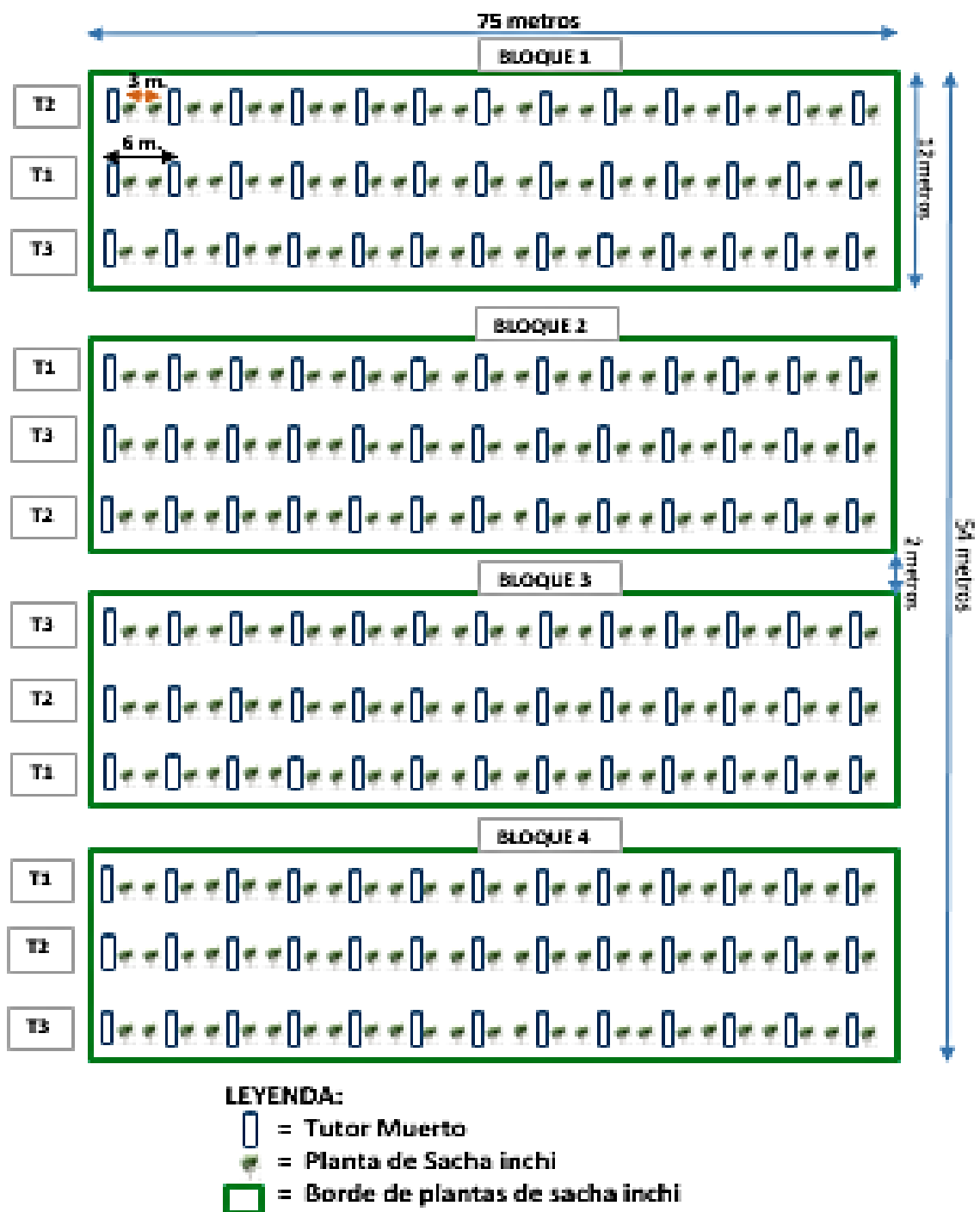


Figura 2. Croquis de campo experimental.

3.8. Parámetros evaluados

3.8.1. Curvas de absorción de nutrientes

La metodología para la elaboración de las curvas de absorción se realizó según Bertsch (2003) y Sancho (1999), citado por BALTA *et al.*, (2013).

Se realizó un total de 108 muestras de partes botánicas (Tallo, Hoja y Fruto) de plantas de sachá inchi, el cual, nos permitió calcular la cantidad de nutrientes extraídos en kg ha^{-1} , en un tiempo determinado y en base a los kg de producción, en cada etapa de muestreo.

Para la toma de datos se empleó hojas de registro, el análisis nutricional se realizó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Tejidos Foliareos de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto a través del método de la digestión PERCLÓRICA. Los nutrientes para evaluar fueron:

Macronutrientes (%)	Micronutrientes (ppm)
Nitrógeno (N)	Sodio (Na)
Fósforo (P)	Zinc (Zn)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)
Calcio (Ca)	Cobre (Cu)
Magnesio (Mg)	Boro (B)
	Hierro (Fe)

3.8.2. Curvas de Crecimiento

La metodología para la elaboración de las curvas de crecimiento se realizó según Bertsch (2003) y Sancho (1999), citado por BALTA *et al.*, (2013). Las muestras se secaron en estufa a 72°C por tres días y en bolsas de papel kraft.

El análisis de Materia seca acumulada, en gramos, se realizó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Tejidos Foliareos de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Cabe mencionar, que las 108 muestras de partes botánicas (Hoja, Tallo y fruto) realizadas para determinar las curvas de absorción de nutrientes, también sirvieron para determinar la cantidad de materia seca acumulada y de esta manera elaborar la curva de crecimiento en cada etapa de muestreo.

3.8.3. Rendimiento

El rendimiento se evaluó en forma mensual y de forma manual, por cada tratamiento y bloque. Posteriormente se expresó en Kg/ha, de las plantas evaluadas. Durante el tiempo que duró la investigación. (Segundo ciclo de producción del sachu inchi).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Curvas de absorción de nutrientes

4.1.1. Absorción de macronutrientes

En estudios realizados en el primer ciclo de producción, el suelo tenía una textura franco arenoso, pendiente ligeramente inclinada (4 – 8 %), pH: 4.71, nivel bajo en materia orgánica (MO: 0.97 %), 6.6 ppm de fósforo disponible, 45 ppm de potasio disponible, un CIC de 6.40 meq/100g), sin presencia de materiales calcáreos, baja saturación de bases (SB: 57 %), sin problemas de aluminio y sin presencia de sales y sodio, fue un suelo de baja fertilidad, por lo cual se utilizó, como recomendación, tratamientos con niveles de fertilización en N-P-K; 0-0-0 (T1), 23-34.5-30 (Dosis baja) y 46-69-60 (dosis alta), los mismos que fueron fraccionados en tres oportunidades, y para lograr suplir deficiencias que el suelo presentaba, se realizó una aplicación de zinc, a razón de 2 a 4 g de zinc como sulfato de zinc, en la primera aplicación de los fertilizantes y se realizó aspersiones de fertilón combi (mezcla de micronutrientes), cada 15 días, en concentraciones de 0.1 a 0.2 % en todas las plantas, dejando 15 días sin aplicar, para efectos del muestreo, estas aspersiones se efectuaron a todas las plantas del trabajo experimental.

Los resultados de este primer estudio sirvieron como base para la fertilización del segundo ciclo de producción del cultivo de sachá inchi, y se mantuvo la cantidad y razón de aplicación de micronutrientes, durante todo este estudio. La aplicación de las dosis de fertilización hizo que el suelo, originalmente denominado como muy pobre, pasó a ser pobre, y la cantidad de iones disponibles de N-P-K en el suelo, aumentaron, así como otras características

físico químicas en este suelo, mejoraron, lo cual puede ser corroborado en los anexos (figuras 18 y 19).

En el anexo (Cuadro 6) el ANVA, nos muestra una alta significancia entre tratamientos, para el elemento Nitrógeno, con un R^2 de 98 % y un CV de 8,78 %, asimismo; el anexo (Cuadro 7), nos muestra el ANVA para el elemento Fósforo, con un R^2 de 97 % y un CV de 17.76 %, mostrando significancia entre tratamientos, del mismo modo, el anexo (Cuadro 8), nos muestra el ANVA del elemento Potasio, con un R^2 de 97 % y un CV de 14.78 %, indicando diferencia significativa entre los tratamientos.

En la figura 3, los resultados indican que el T₃, muestra diferencia significativa en comparación con los otros tratamientos establecidos, siendo el Nitrógeno, el macro nutriente más absorbido, con 208.86 Kg/ha y el macronutriente menos absorbido, fue el Magnesio con 22.95 Kg/Ha. Asimismo, las figuras 4, 5, 6, 7 y 8, muestran las curvas de absorción de los macronutrientes, a través del tiempo, desde los 90 días después de la siembra (DDS), hasta los 545 DDS, las cuales comprenden las distintas etapas fenológicas de la planta (Crecimiento – Floración – Fructificación - Producción constante - Descanso), se observó la mayor absorción de Nitrógeno, Potasio y Calcio, así como la menor absorción del Fósforo y el Magnesio, dicha relación de absorción se mantiene en las distintas etapas mencionadas, en cada uno de los tratamientos aplicados, estos resultados fueron mayores a los reportados por BALTA (2015) y GUERRERO (2014), quienes evaluaron absorción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en etapas fenológicas correspondientes al primer ciclo de producción, siendo no congruentes con los resultados que estos reportaron.

De los elementos minerales, el Nitrógeno (N), fue el elemento más absorbido, ya es el elemento más abundante en los vegetales, en condiciones normales de cultivo y por esta razón, es también, el nutrimento que se encuentra más deficiente para la mayoría de los cultivos en todas las partes del mundo Black (1986), citado por BALTA (2013), (CORASPE *et al.*, 2008); el Fósforo (P) y el Potasio (K), son después del Nitrógeno los elementos, que más absorben las plantas, puesto que son elementos que una planta más requiere, tal como lo menciona (MORÁN, 2020), lo cual no es congruente con este estudio, ya que las plantas de sachá inchi, absorbieron mayor cantidad del elemento Calcio, que el elemento Fósforo, en cada muestreo.

Asimismo, los anexos (Cuadro 9 y 10), muestran en el ANVA, una alta significancia entre tratamientos, para el elemento Calcio, con un R^2 de 99 % y un CV de 7.64 %, la absorción de Magnesio y Calcio, en las plantas del T₃, fue mayor a la reportada por SANDOVAL (2015), quien evaluó la extracción y absorción de estos dos nutrientes en el primer ciclo de producción de este cultivo, pero no son congruentes con resultados reportados en este estudio, donde también se evaluó la absorción de estos nutrientes en etapas fenológicas similares en el primer ciclo de producción.

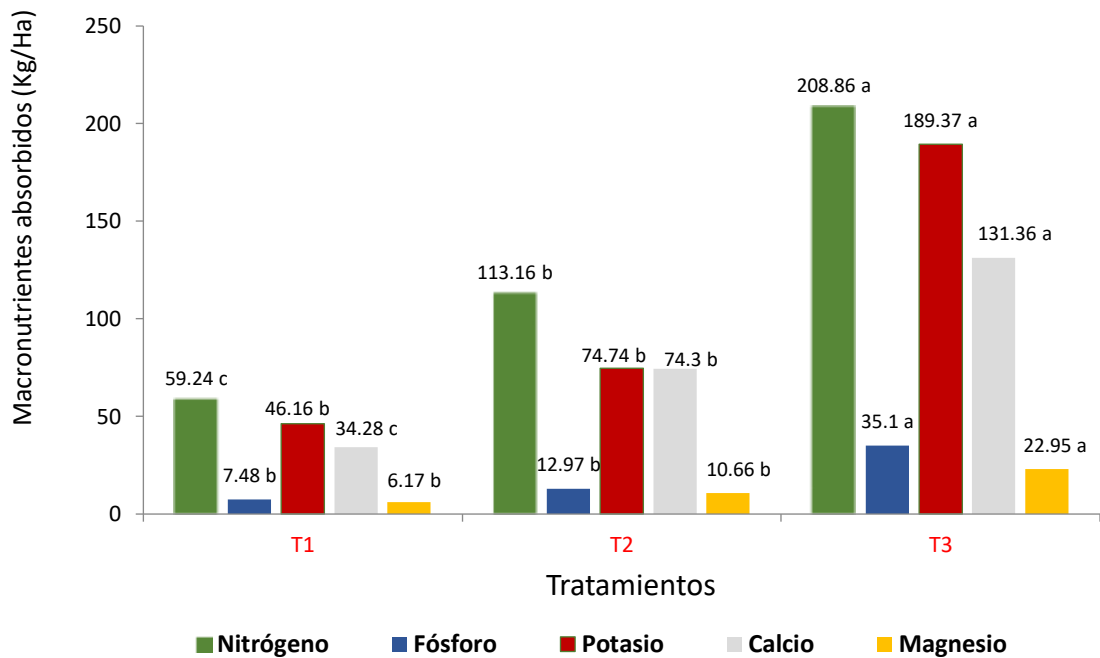


Figura 3. Macronutrientes absorbidos por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

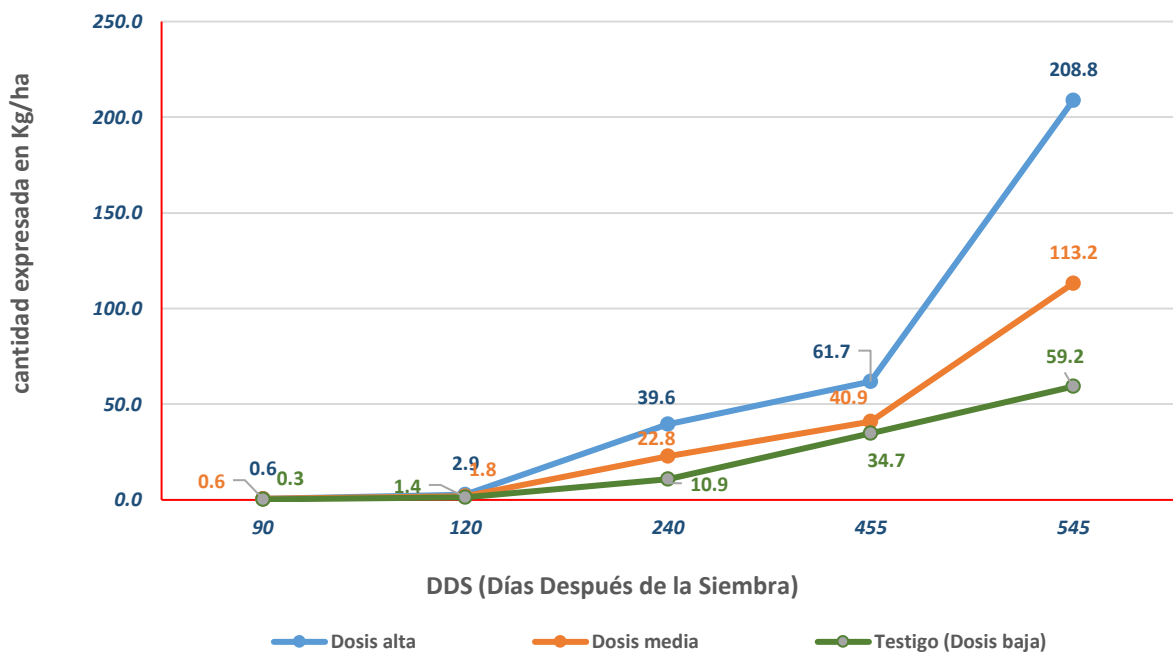


Figura 4. Curva de absorción de Nitrógeno en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

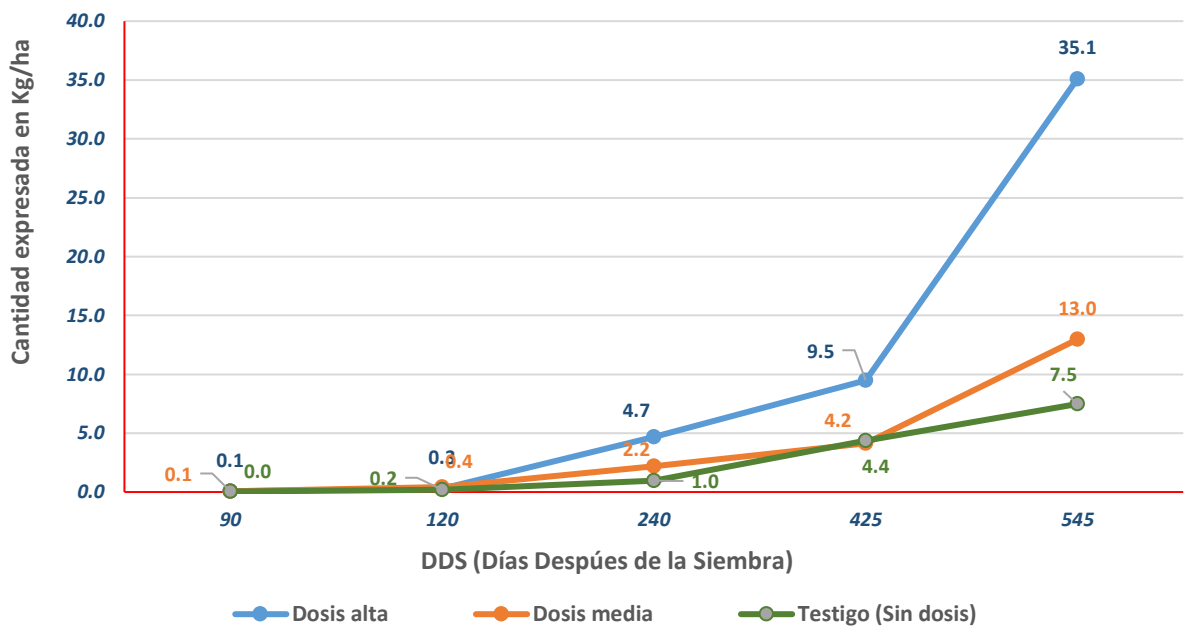


Figura 5. Curva de absorción de Fósforo en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

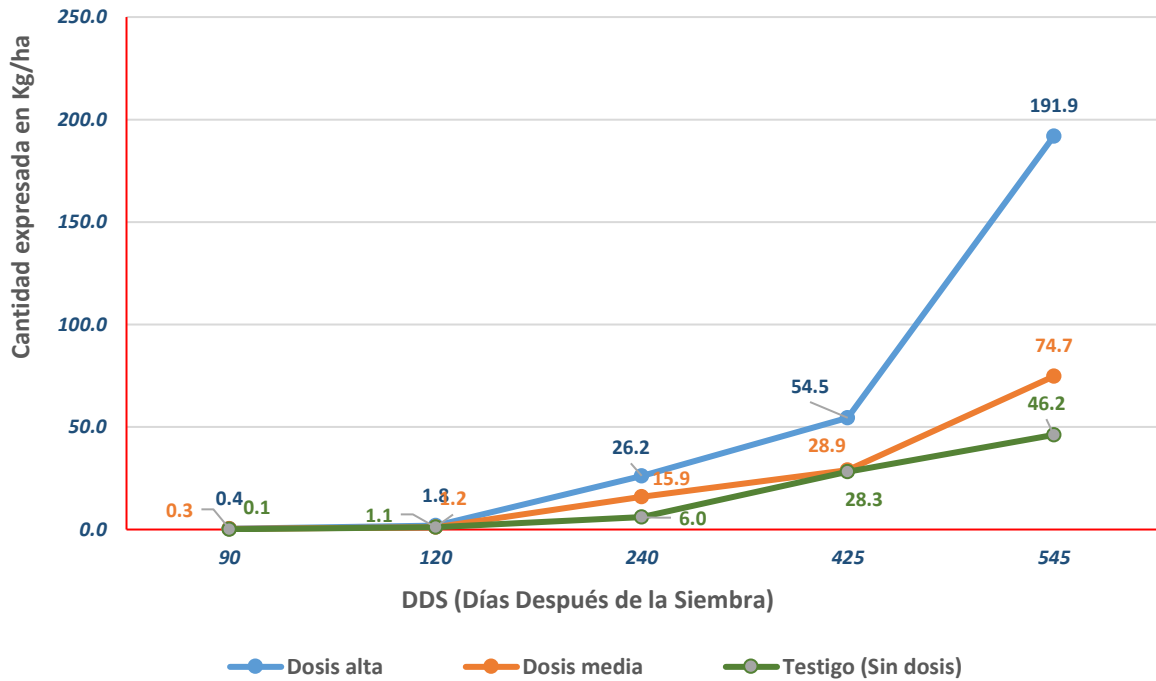


Figura 6. Curva de absorción de Potasio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

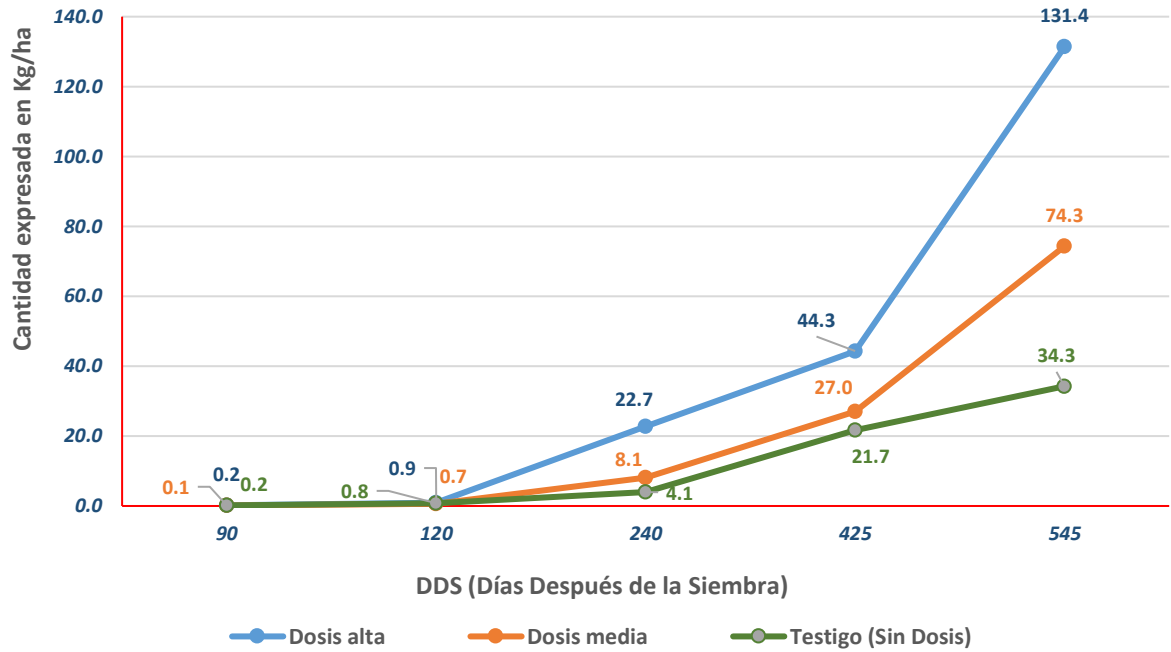


Figura 7. Curva de absorción de Calcio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS –545 DDS.

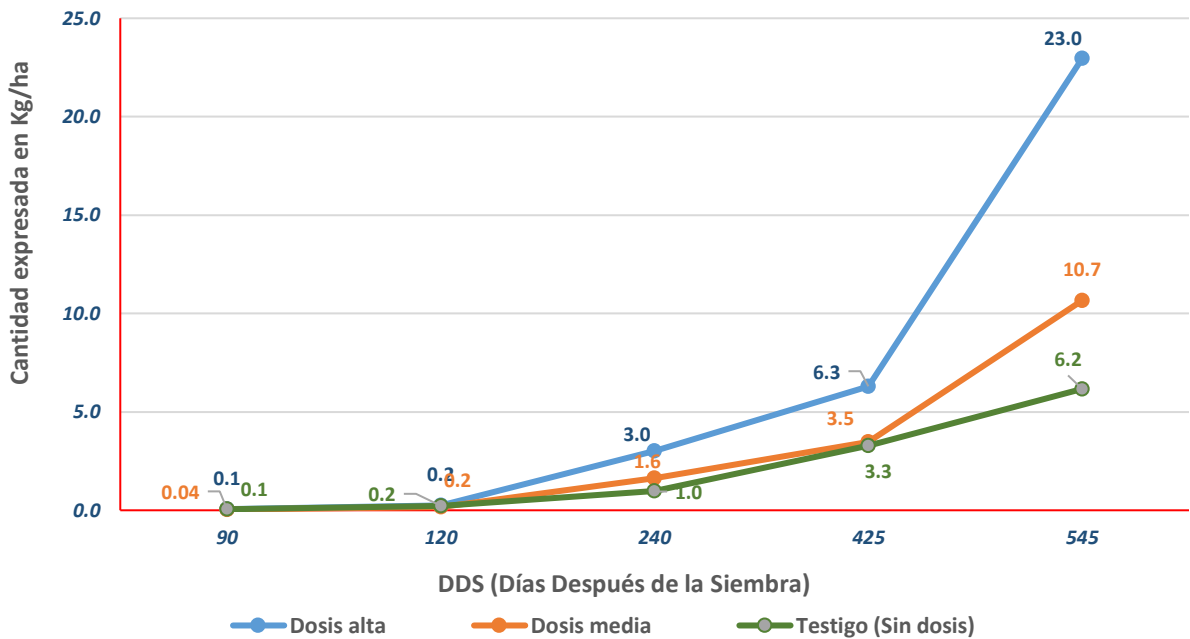


Figura 8. Curva de absorción de Magnesio en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.

4.1.2. Absorción de micronutrientes

En el anexo (Cuadro 11), el ANVA, nos muestra una alta significancia entre tratamientos, para el elemento Sodio, con un R^2 de 97 % y un CV de 13.38 %, el anexo (Cuadro 12), nos muestra el ANVA para el elemento Zinc, con un R^2 de 99 % y un CV de 7.61 %, mostrando significancia entre tratamientos, así mismo, el anexo (Cuadro 13), nos muestra el ANVA del elemento Manganeso, con un R^2 de 99 % y un CV de 5.43 %, indicando diferencia significativa entre los tratamientos.

Asimismo, el anexo (Cuadro 14), el ANVA, nos muestra una alta significancia entre tratamientos, para el elemento Cobre, con un R^2 de 96 % y un CV de 9.37 %, el anexo (Cuadro 15), nos muestra el ANVA para el elemento Hierro, con un R^2 de 94% y un CV de 11.42 %, mostrando significancia entre tratamientos, así mismo, el anexo (Cuadro 16), nos muestra el ANVA del elemento Boro, con un R^2 de 94% y un CV de 15.14%, indicando diferencia significativa entre los tratamientos.

En la figura 9, los resultados indican que el T₃, muestra diferencia significativa en comparación con los otros tratamientos establecidos, siendo el Sodio, el micro nutriente más absorbido, con 12.34 Kg/ha, seguido del Hierro con 12.34 Kg/Ha y el Boro el micro nutriente menos absorbido, con 0.55 Kg/ha. Asimismo, las figuras 10, 11, 12, 13, 14 y 15 nos indican la absorción de micronutrientes, a través del tiempo, en las distintas etapas fenológicas de este cultivo y en los tratamientos establecidos, además demuestran que, los micronutrientes más absorbidos fueron el Sodio, Hierro y Manganeso y los menos absorbidos fueron el Cobre y el Boro.

Sin embargo, el Sodio no es considerado elemento esencial, sólo beneficioso, para la mayoría de las plantas, pero estudios realizados en plantas C4, demuestran que es esencial para plantas que tienen este proceso metabólico (KYRKBY y RÖMHELD, 2007), (SOROS y DENGLER, 2001) el mismo que podría estar sujeto a factores externos o factores intrínsecos del vegetal gobernados por el material genético. Además, el sodio puede ser usado en pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila, en algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua. (PROMIX, 2020).

Otro de los microelementos, más absorbidos desde los 90 DDS – 545 DDS, fue el Hierro, por su alta afinidad de formar complejos con varios ligandos (por ejemplo, ácidos orgánicos y fosfatos) y la facilidad de cambio de valencia, además, está involucrado en el transporte de electrones en la fotosíntesis. (KYRKBY y RÖMHELD, 2007), (ESQUIVEL, 2017).

La absorción de Zinc, posiblemente, se absorbió en menor cantidad porque la movilidad de este elemento es muy escasa y tiene tendencia a acumularse en las raíces y en las hojas viejas de la planta (KYRKBY y RÖMHELD, 2007), la acumulación de este elemento permite la fijación del nitrógeno en la planta, y forma parte de las enzimas y fitohormonas (hormonas vegetales) que es fundamental en la síntesis de auxinas, especialmente en la ruta metabólica del triptófano que conduce a la formación del ácido indolacético (ESQUIVEL, 2017), (TARAFDAR, *et al.*, 2014).

Los micronutrientes menos absorbidos fueron el Cobre y el Boro, pero a los 120 DDS, etapa de floración, se registra un ligero aumento en la absorción del boro ya que actúa sobre la fertilidad del tubo polínico y la translocación de azúcares, además es indispensable para la fijación de nitrógeno y para que el floema (conducto por donde la planta transporta los nutrientes) cumpla su función de transportador de fotosintatos elaborados y azúcares a través del floema; también participa en la síntesis del ácido giberélico y en el metabolismo del ARN, (SALISBURY y ROSS, 2000), (KYRKBY y RÖMHELD, 2007).

Se absorbió en una mayor cantidad el Sodio, Hierro y el elemento Manganeseo ya que estos elementos, junto al hierro, participan en la formación de clorofila, acelera la germinación y la maduración, aumenta el aprovechamiento del calcio, el magnesio y el fósforo, además son catalizadores en la síntesis de clorofila (XU *et al.*, 2000).

El elemento Cobre, Su mayor importancia radica en su participación del proceso redox, tiene características similares a las del hierro y es un componente de la proteína del cloroplasto denominada plastocinina, que toma parte en el sistema de transporte de electrones en el fotosistema I y II; también participa en el metabolismo de las proteínas y carbohidratos, en la fijación del N atmosférico, y es un componente de las enzimas (citocromo oxidasa, polifenol oxidas y ácido ascórbico oxidasa), las cuales reducen el oxígeno molecular (O₂), al catalizar procesos de oxidación. (ESQUIVEL, 2017), (KYRKBY y RÖMHELD, 2007).

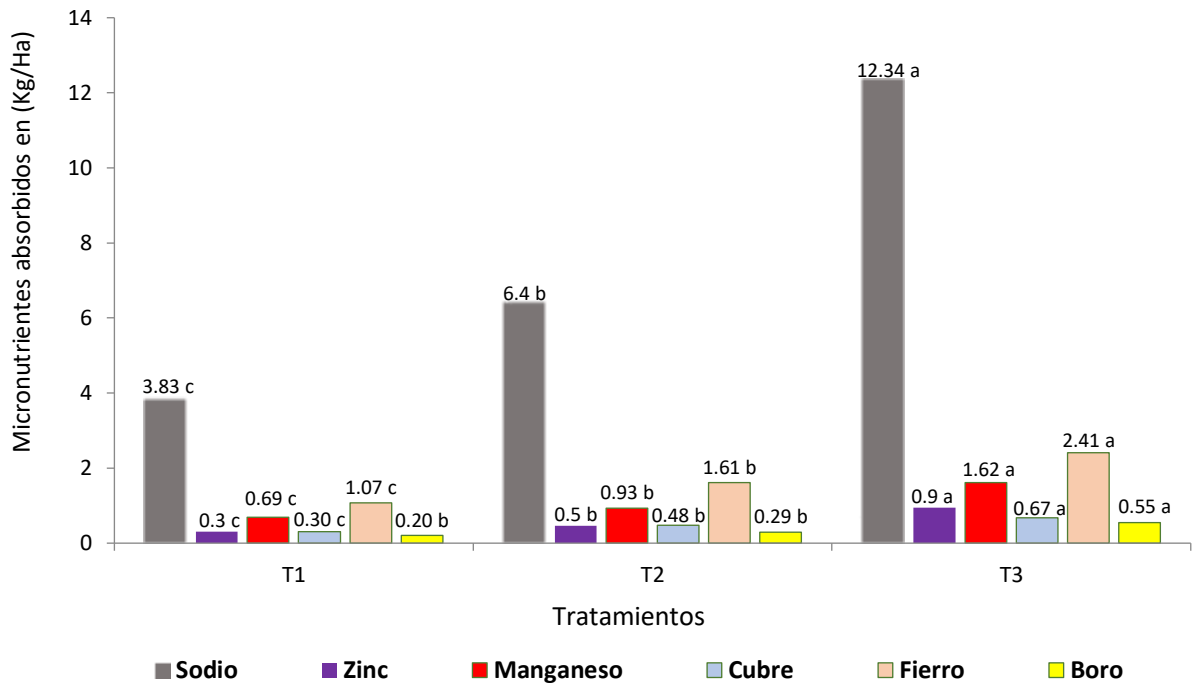


Figura 9. Micronutrientes absorbidos por plantas de sachu inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

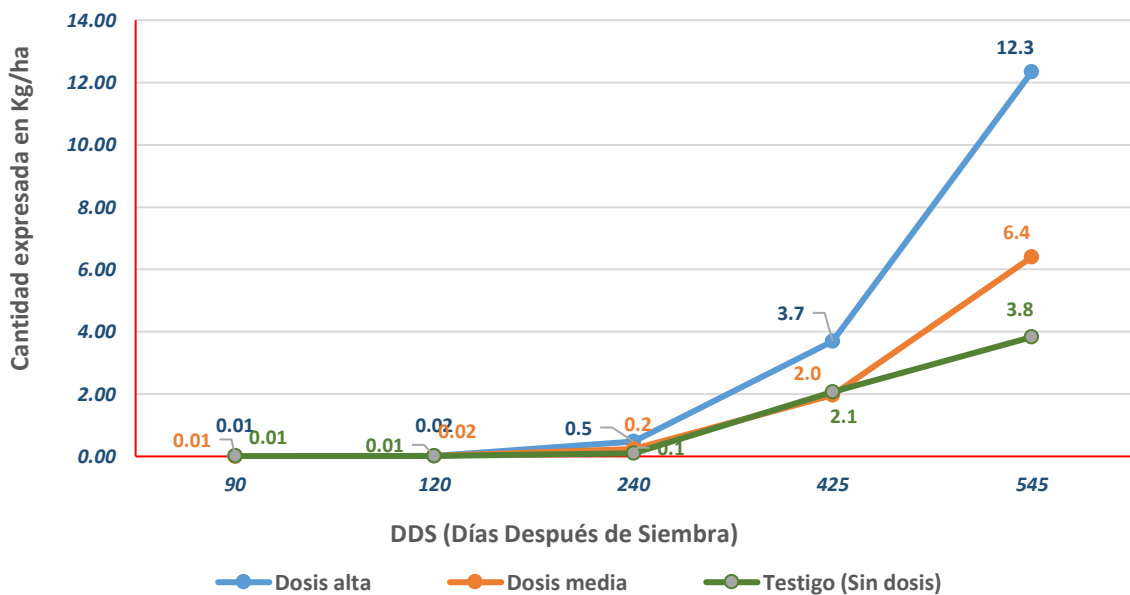


Figura 10. Curva de absorción de Sodio en plantas de sachu inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

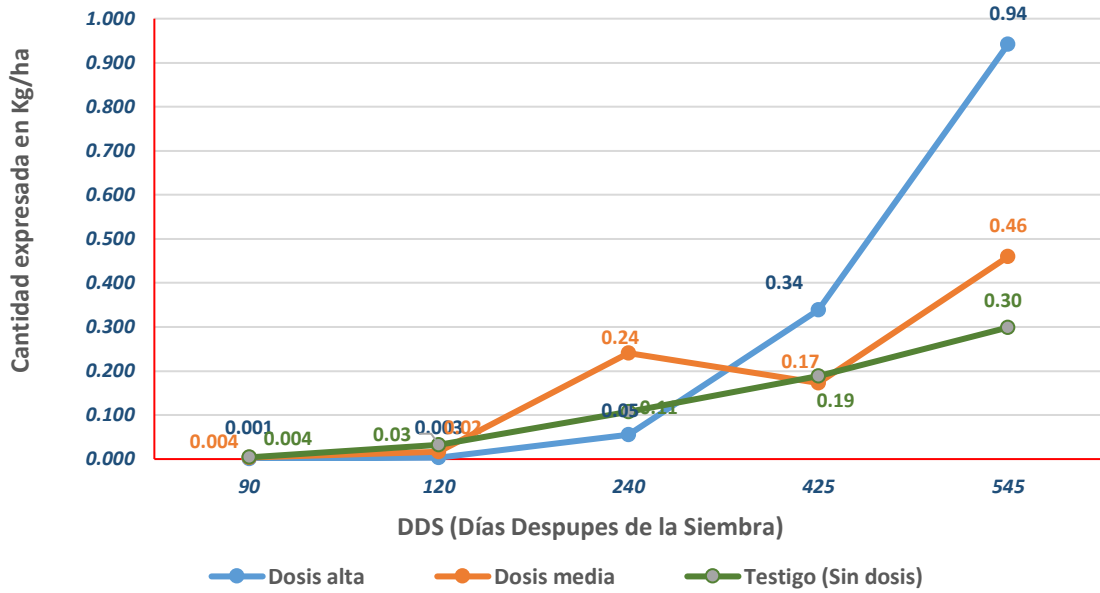


Figura 11. Curva de absorción de Zinc por plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.

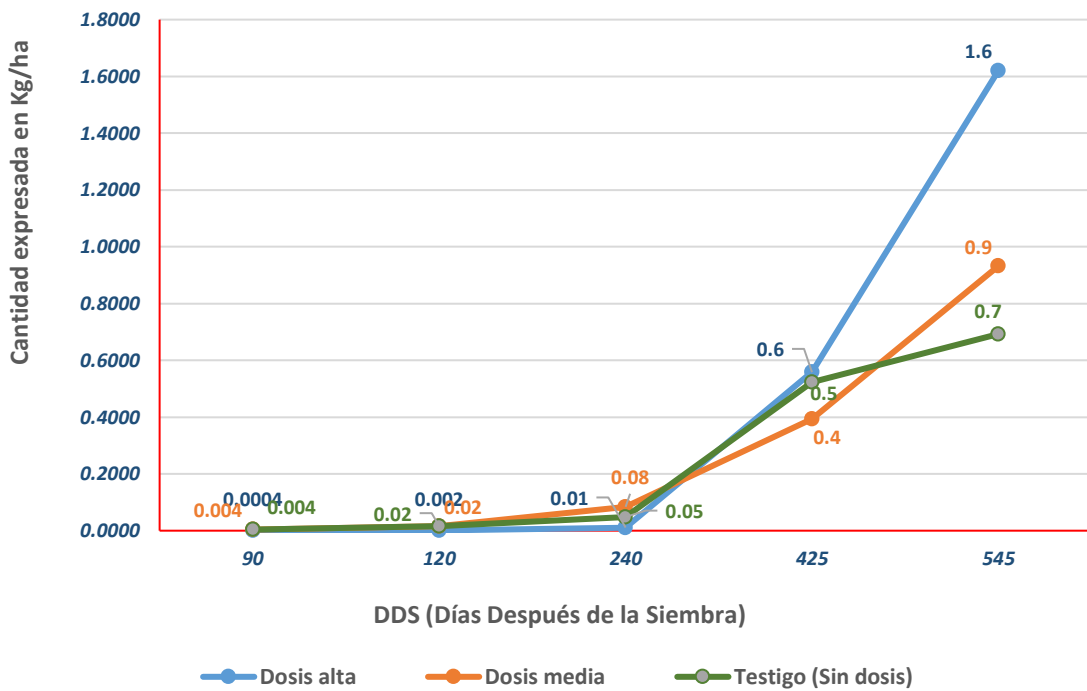


Figura 12. Curva de absorción de Manganeso en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

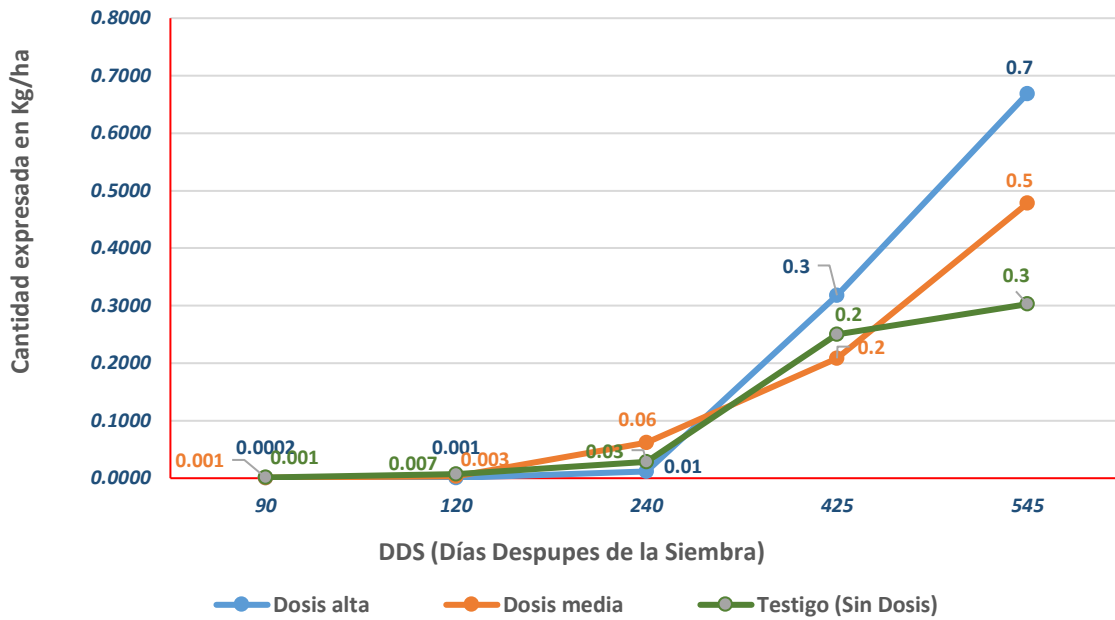


Figura 13. Curva de absorción de Cobre en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS – 545 DDS.

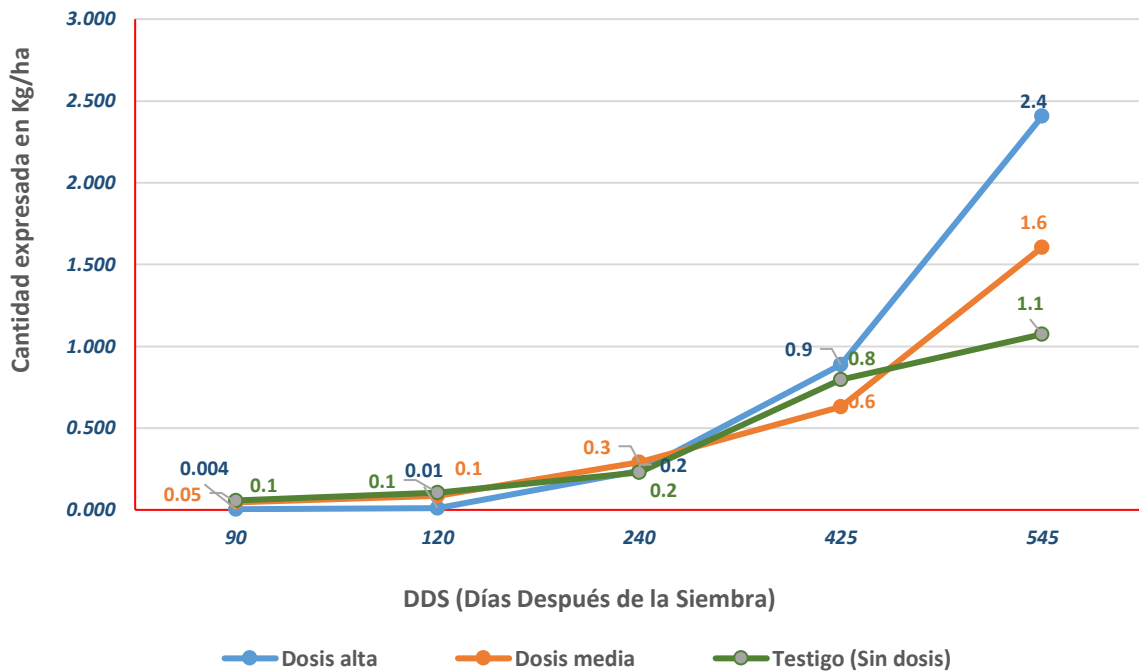


Figura 14. Curva de absorción de Hierro en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.

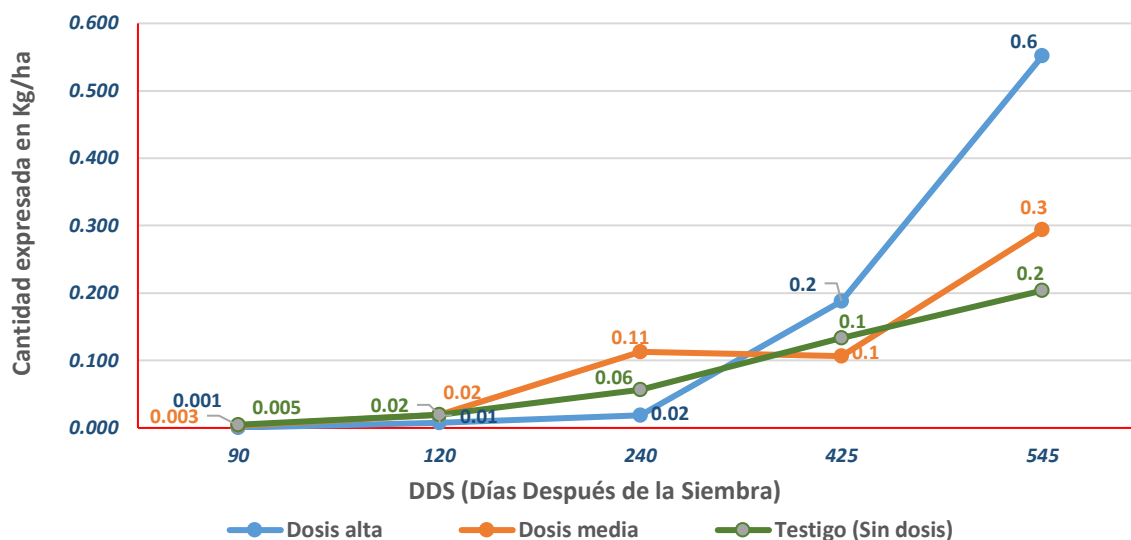


Figura 15. Curva de absorción de Boro en plantas de sachá inchi desde los 90 DDS - 545 DDS.

4.2. Curvas de crecimiento

En el anexo (Cuadro 17), el ANVA, nos muestra significancia entre tratamientos, con un R^2 de 98 % y un CV de 7.06 %, el cual está dentro de los parámetros permisibles, (ROJAS, 1991); asimismo, la figura 16, nos muestra la diferencia significativa entre tratamientos, siendo el T₃ el que alcanzó el mayor valor de Materia Seca (8.04 Kg), con diferencias significativas en comparación a los otros tratamientos, asimismo, esta figura nos muestra que el T₁, obtuvo el mínimo valor de Materia Seca (3.41 Kg).

Para la elaboración de las Curvas de crecimiento, se utilizó los resultados de acumulación de materia seca, reportados en los análisis realizados por el laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, en la cual se muestra que las plantas del T₃, las cuales, tuvieron la dosis alta de fuentes nutritivas, obtuvieron los mayores valores de materia seca acumulada, durante el tiempo que duró esta investigación, y es que, los nutrientes que necesitan las plantas se toman del aire y del suelo, se puede asumir que si el suministro de

nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor, lo cual es compatible con lo mencionado por la (FAO, 2002), sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado, como sucedió con las plantas del T₁ (Tratamiento control), quienes fueron tratadas con la dosis baja de las fuentes nutritivas.

Las plantas de sachá inchi, en su segundo ciclo de producción, absorbieron en forma más abundante el Nitrógeno, ya que este elemento participa en los procesos de crecimiento como un componente estructural y funcional, resultados similares, son mencionados por (CORASPE *et al*, 2008).

La absorción de Calcio, por las plantas del T₃, nos indica, la participación del Calcio como constituyente de la pared celular (función estructural) y regulador de la permeabilidad de las membranas, siendo esencial para la elongación de las células en los puntos de crecimiento. (RINCÓN, 2015).

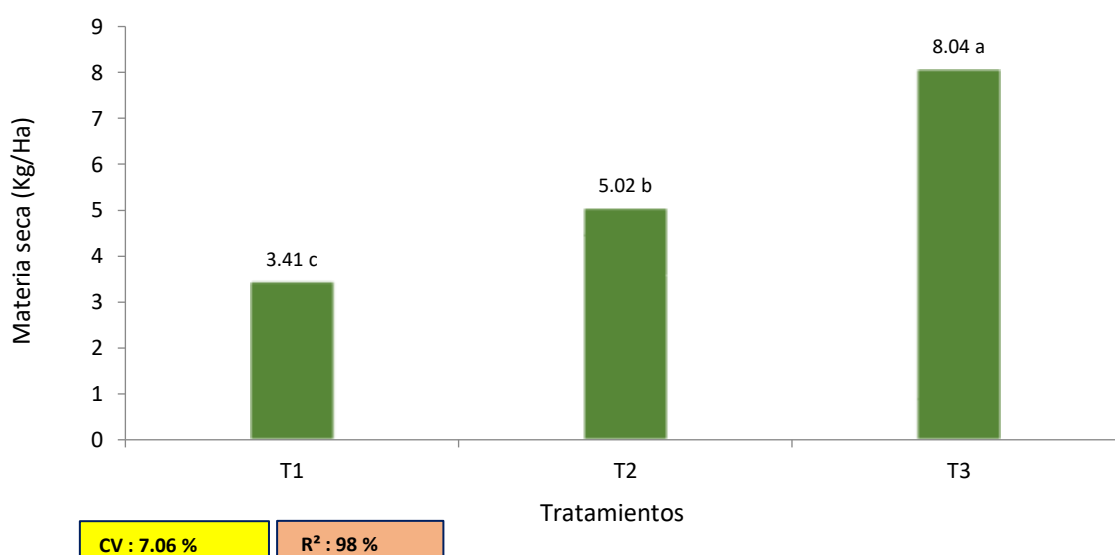


Figura 16. Materia Seca por tratamiento en Kilogramo de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

4.3. Rendimiento

En el anexo (Cuadro 18), el ANVA, nos muestra significancia entre tratamientos, con un R^2 de 89 % y un CV de 10.46 %, el cual está dentro de los parámetros permisibles, (ROJAS, 1991); asimismo, la figura 17, nos muestra la diferencia entre tratamientos, siendo el T₃ el que alcanzó el mayor valor numérico en rendimiento (33.26 Kg), sin diferencias significativas con el T₂, asimismo, esta figura nos muestra que el T₁ obtuvo el mínimo valor (21.03 Kg) mostrando diferencia significativa, frente a los otros tratamientos. Del mismo modo, la figura 18, nos muestra los rendimientos por tratamientos en Kg/ha.

En el parámetro del rendimiento, las plantas del tratamiento 3, superaron en a los otros dos tratamientos, en cuanto a los rendimientos mostrados, durante la duración de este trabajo de investigación, ya que en las plantas del T₃, se utilizaron fuentes nutritivas con dosis altas, corroborando que, la nutrición mineral de las plantas es un factor determinante y el que más contribuye a tener elevados rendimientos y calidad de producto, por la adecuada absorción y disponibilidad de nutrientes en las etapas que los cultivos requieren, (CORASPE *et al.*, 2009).

Los niveles de Magnesio, absorbidos, influenciaron directamente en la productividad de este cultivo, ya que el Magnesio, es un elemento esencial para el desarrollo de cualquier cultivo y 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).

Los resultados de la absorción del elemento Calcio, en este estudio, muestran su importancia, en el crecimiento de los meristemos y en la absorción de nitratos, y su participación con los procesos de maduración de frutos, además de ser esencial en preservar la vida de anaquel de los frutos, (RINCÓN, 2015).

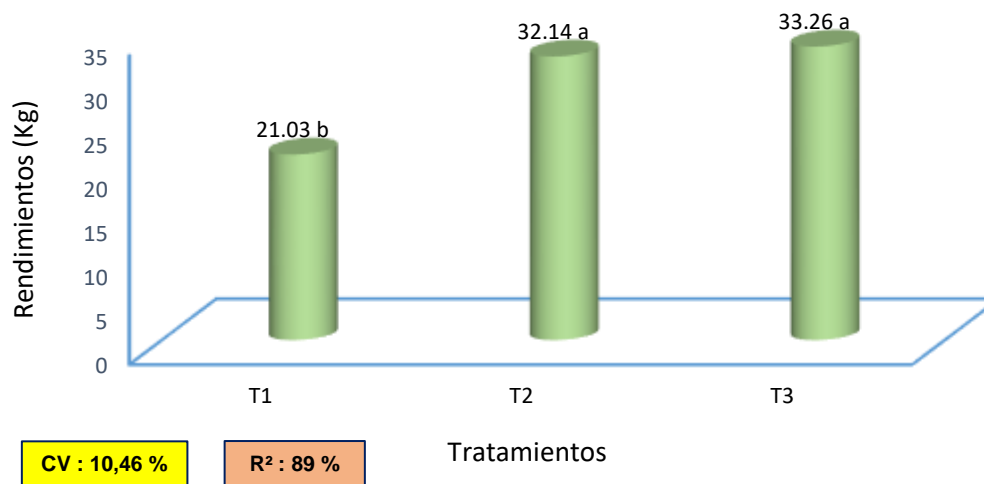


Figura 17. Frutos cosechados por tratamiento de 100 plantas de sachá inchi en Kilogramo, evaluadas en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

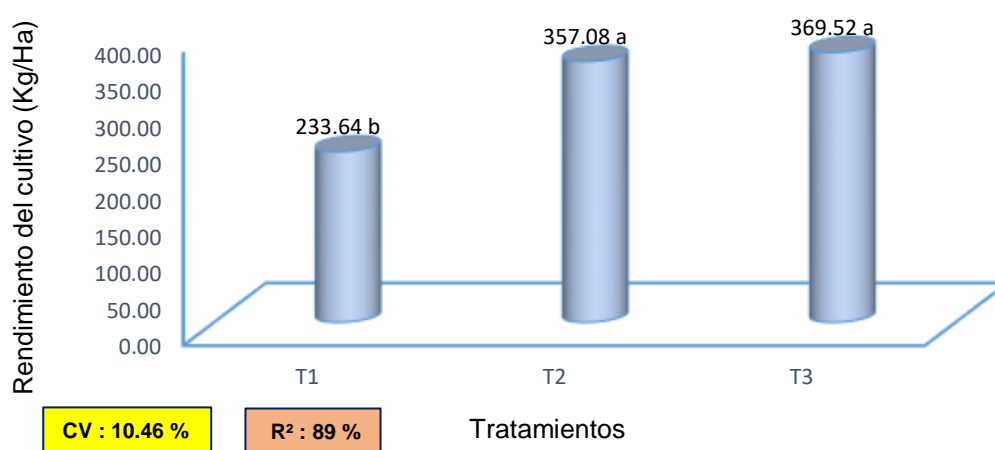


Figura 18. Frutos cosechados por tratamiento de 100 plantas de sachá inchi en Kilogramo por Hectárea, evaluadas en su segundo ciclo de producción. Letras distintas indican diferencias significativas. Scott & Knott ($p \leq 0,05$).

V. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo mayor absorción de nutrientes, con el T₃ (Dosis alta), siendo los macronutrientes más absorbidos, en el segundo ciclo de producción del cultivo de sachá inchi, el Nitrógeno (N), Potasio (K) y Calcio (Ca), con 208.86 Kg/ha, 189.37 Kg/ha y 131.36 Kg/ha, respectivamente, así mismo los menos absorbidos fueron el Fósforo (P) y el Magnesio (Mg), con 35.1 Kg/ha y 22.95 Kg/ha, respectivamente.
2. Para la absorción de micronutrientes, en el segundo ciclo de producción del cultivo de Sachá inchi, se obtuvo mayor absorción, con el T₃ (Dosis alta), siendo los más absorbidos, el Sodio (Na), el Hierro (Fe) y el Manganeso (Mn), con 12.34 Kg/ha, 2.41 Kg/ha y 1.62 Kg/ha, respectivamente, del mismo modo los menos absorbidos fueron, el Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Boro (B), con 0.94 Kg/ha, 0.67 Kg/ha y 0.55 Kg/ha, respectivamente.
3. El T₃, (Dosis Alta), obtuvo mejores resultados, en cuanto al incremento de Materia Seca (Crecimiento) del cultivo con 8.04 Kg, a los 545 DDS.
4. El T₃, alcanzó los mayores valores en rendimiento, expresados en frutos cosechados, reportándose un total de 33.26 Kg/100 plantas evaluadas y un total de 369.52 Kg/Ha, considerando 1111 plantas por Ha.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar réplicas de este trabajo en otras Provincias de San Martín y determinar los requerimientos nutricionales del sachá inchi, idóneo para cada zona productora de sachá inchi.
2. Aplicar los datos obtenidos en el presente trabajo, para futuros planes de trabajo e investigación en el cultivo de sachá inchi.
3. Estudiar la absorción de nutrientes en el tercer y cuarto ciclo de producción del sachá inchi, los cuales pueden ser considerados, etapas de descanso.
4. Realizar estudios utilizando el elemento sodio, tomando como referencia los resultados obtenidos en el presente estudio.

VII. BIBLIOGRAFÍAS

1. ARANDA, J. 2010. Monografía sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).
Desarrollo de monografías para cinco cultivos peruanos del Proyecto
Perú biodiverso. Pp. 6-7.
2. AZCÓN, J.; TALÓN, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ed. Madrid,
España. Mc Graw Hill Interamericana de España SA. 651 p.
3. BALTA, R. 2013. Curva de absorción del nitrógeno (N) por el cultivo de sachá
inchi (*Plukenetia volubilis* L.) bajo condiciones de Bello Horizonte-
Tarapoto. Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis de Pregrado para
obtención de título profesional de Ingeniero Agrónomo. Cajamarca –
Perú. 119p.
4. BALTA, R.; RODRIGUEZ, A.; GUERRERO, R.; CACHIQUE, D.; ALVA, E.;
ARÉVALO, L.; LOLI, O. 2015. Absorción y Concentración de Nitrógeno,
Fósforo y Potasio en Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos
ácidos, San Martín, Perú. Vol. N° 24. 8p.
5. BENÍTEZ, R.; CORONEL, C.; HURTADO, Z.; MARTÍN, J. 2014. Composición
química de la cáscara de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y alternativas
para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial. Universidad
del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia. El Hombre y la Máquina N° 46.
5p.

6. BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. Informaciones agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José – Costa Rica. 306p.
7. BERTSCH, F. 2005. Estudios de Absorción de nutrimentos como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. N° 57. 185p.
8. CACHIQUE, D. 2006. Sistema de Producción y Mejoramiento Genético de Sacha Inchi en San Martín. *Memoria Institucional. Programa de Investigación en Ecosistema Terrestre (PET)*. Iquitos-Perú. Pp. 51-52.
9. CORASPE ET AL. 2008. Nitrógeno absorbido por plantas de papa. *Agronomía Tropical*. N° 1. 14p.
10. CORASPE, H.; TAKASHI, M.; VINICUS, F. CONTRERAS Y OCHEUZE, P. 2009. Absorción de Macronutrientes por plantas de Papa (*Solanum tuberosum* L.) En La Producción De Tubérculo-Semilla. *Interciencia*. Vol. 34 N° 2. Pp. 57-63.
11. CORAZÓN, M.; CASTRO D.; CHOTA, W.; RODRÍGUEZ, A., CACHIQUE, D.; MANCO, E.; DEL CASTILLO, D.; RENNO, J.; GARCÍA, C. 2009. Caracterización genética de accesiones sanmartinenses del Banco Nacional de Germoplasma de sachá inchi *Plukenetia volubilis* L. (E.E. El Porvenir- INIA). Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. Vol. 18 N° 1-2. Pp. 23-31.

12. DIRECCIÓN REGIONAL DE AGRICULTURA SAN MARTÍN (DRASAM), 2017. Análisis de la Cadena de Valor del Sacha Inchi en San Martín al 2016. Manual informativo. Lima, Perú. Primera Edición. 56p.
13. ESAN, 2009. Exportación de Sacha Inchi al Mercado de Estados Unidos. Universidad ESAN. Primera Edición - Lima, Setiembre 2009. 163p.
14. ESQUIVEL, G. 2017. Nutrientes esenciales para las plantas. DROKASA – Perú. www.drokasa.com.pe. 14p.
15. 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. 77p
16. GUERRERO, R. 2014. "Determinación de las curvas de absorción de fósforo y potasio en el cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) bajo las condiciones de bello horizonte". Tesis de pre grado, para obtención de Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. 115p.
17. ITIS-Integrated Taxonomic Information System
<http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=845447> [Consulta: 02 de mayo del 2021 a las 04.00 pm]
18. KYRKBY E.; RÖMHELD V. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.

19. LÓPEZ, M. 2009. Distribución Y Fitodisponibilidad De Metales Pesados (Sb, Hg, As) En Los Jales De La Mina De Antimonio De Wadley, Estado De San Luis Potosí. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México. 160p.
20. MANCO, E. 2006. “Cultivo de sachá inchi - Informes de resultados de investigación, Programa Nacional de Investigación en recursos Genéticos y Biotecnología” EE. El. Porvenir INIA – Tarapoto. 11p.
21. MARSCHNER, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants. Nutrient availability in soils. The University of Adelaide, Australia. Academic Press. Third Edition N°3. 581p
22. MORAN, E. 2020. Estimación de curvas de absorción de nutrientes para el cultivo de maíz híbrido (*Zea mays*), en tres zonas productoras de la provincia de Los Ríos. Universidad Técnica de Babahoyo. Trabajo de titulación. Babahoyo, Los Ríos, Ecuador. 33p.
23. NAVARRO, G.; NAVARRO, S. 2013. Química agrícola. 3ed. Madrid, España, Mundi Prensa SA. 492 p.
24. NORIEGA, H.; RISCO, M.Y; CACHIQUE, D.; RUIZ, H., SOLIS, R.; GUERRERO, J.C. 2010. Biología y autocompatibilidad del polen de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Programa PROBOSQUES, Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, San Martín. Departamento de Ciencias Biológicas - CEBTEC, Escola Superior de Agricultura Sao Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo. Sao Paulo. Brasil. Pp. 40-42.

25. PROMIX, 2020. La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas.
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>. [Consultado: 12 de abril del 2021 a las 09:33 pm]
26. RAMÍREZ, F, BERTSCH, F. 2002. Absorción de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de maduración y desarrollo de frutos en Aquiares, Turrialva, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 26 (1). Pp. 33-42.
27. RINCÓN, A.; MATÍNEZ, E. Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. Facultad de Estudios a Distancia FESAD, Grupo de Investigación CIMA Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia). Vol. 24. N° 34. 13p.
28. RODRÍGUEZ, Á.; CORAZÓN, M.; CACHIQUE, D.; MEJÍA, K.; DEL CASTILLO, D.; RENNO, J.F, GARCÍA, C. 2010. Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequencerepeats) de especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) de la Amazonia peruana: propuesta de una nueva especie. © Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM. *Revista Peruana de Biología* Vol. 17(3). Pp. 325-330.
29. ROSSITER, S.; JONES, G.; RANSOME, R.; BARRATT, E. 2000. Genetic variation and population structure in the endangered greater *Rinolophus ferrumequinum*. *Molecular Ecology*. Vol. 9. Pp.1131-1135.

30. SALISBURY, F. Y ROSS, C. 2000. Fisiología de las plantas. Repositorio de la Universidad Autónoma (UAN) de Nayarit, México. Trad. Madrid, España, Paraninfo. 987p.
31. SANDOVAL, A. 2015. Extracción de nutrientes calcio, magnesio y azufre, en cuatro etapas fenológicas del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el distrito Banda de Shilcayo – San Martín. Tesis de pre grado para obtención de título profesional para Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. 92p.
32. SOROS, C.L. y DENGLER, N.G., 2001. «Ontogenic derivation and cell differentiation in photosynthetic tissues of C3 and C4 Cyperaceae». American Journal of Botany, 88, Pp. 1258-1265.
33. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ed. v.1. California, Estados Unidos. Universitat Jaume I Publicacions. 580 p.
34. TARAFDAR, J.C., RALIYA, R., MAHAWAR, H. Y RATHOSE, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in Pearl millet (*Pennisetum americanum*). Agricultural Research, 3: Pp. 257-262.
35. THOMPSON, L.; Troeh, F. 2018. Los suelos y su fertilidad. 5ed. Barcelona, España, Editorial Reverte SA. 629 p.
36. Xu, G., H. Mangan, J. Tarchitzky, and U. Kafkafi. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. Advances in Agronomy. 68: Pp. 97-150.

VIII. ANEXOS



Figura 19. Reporte de caracterización del análisis inicial de suelo.



Figura 20. Reporte de caracterización del análisis final de suelo.



Figura 21. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 1).



Figura 22. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 2).



Figura 23. Reporte análisis foliar – Primer Muestreo (Grupo 3).



Figura 24. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 1).



Figura 25. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 2).

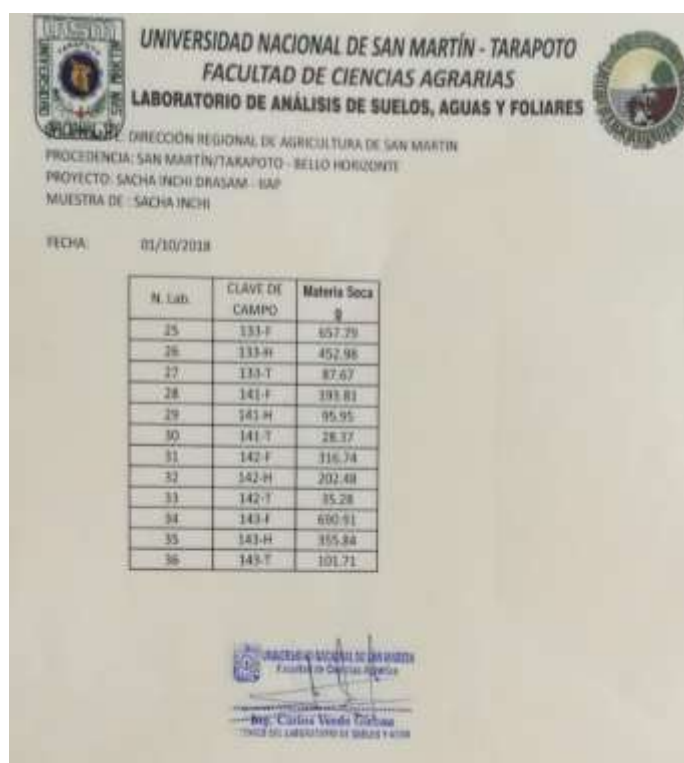


Figura 26. Reporte de Materia Seca - primer muestreo (Grupo 3).



Figura 27. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 1).



Figura 28. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 2).



Figura 29. Reporte de Análisis foliar - Segundo muestreo (Grupo 3).



Figura 30. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 1).



Figura 32. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 2)



Figura 31. Reporte de Materia Seca - Segundo muestreo (Grupo 3).



Figura 33. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 1).



Figura 34. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 2).



Figura 35. Reporte de Análisis foliar - Tercer muestreo (Grupo 3).



Figura 36. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 1).



Figura 37. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 2).



Figura 38. Reporte de Materia Seca - Tercer muestreo (Grupo 3).

Ácidos Grasos	Aceite Semilla	Extracto etanólico	
		Hojas g/100g	Raíces
Palmítico	3,60	--	--
Esteárico	2,90	--	--
Oleico	8,50	--	--
Linoléico	33,90	3,20	1,10
Linolénico	50,20	8,20	0,90
Eicosenoico	0,32	--	--
Behénico	1,20	--	--
Abiético	--	2,20	4,30
Cucúrbico	--	2,50	3,30
7-oxo-octadecanoico	--	1,30	1,90
9,10-epoxi-11hidroxi-12-octadecenoico	--	2,30	--
9,12-nonadecadienoico	--	3,20	2,30
Acido Málvalico	--	5,60	7,60
Estercúlico	--	5,60	12,20
Colesterol	0,20	0,70	0,02
24-Methylene colesterol	0,08	0,08	0,08
Campesterol	6,10	6,10	3,60
Campestanol	0,40	0,40	0,20
Estigmasterol	27,10	2,10	12,20
Ergosterol	--	0,06	0,20
Ergostentriol	--	0,30	0,05
Ergostatrienol	--	0,25	--
Choleroesterol	0,70	--	--
β -Sitosterol	56,40	56,40	32,20
Sitostanol	0,80	0,80	0,20
β - caroteno	52,00	--	--

Fuente: Rev Chil Nutr Vol. 39, N°1, Marzo 2012.

Figura 39. Composición de ácidos grasos de *Plukenetia volubilis*.

Aminoácido	<i>P. huayllabambana</i>		<i>P. volubilis</i>		FAO/OMS
	Semillas (AI-RM-05)	Torta (TRM)	Semillas (AI-SM-06)	Torta (TSM)	
ácido aspártico	19	16	14	11	...
ácido glutámico	41	12	30	21	...
asparagina	124	33	80	46	...
serina	28	15	18	61	...
treonina	40	48	36	64	34
glicina	225	215	218	201	...
alanina	20	13	14	22	...
arginina	39	14	44	17	...
prolina	24	49	23	59	...
valina	52	36	40	47	35
metionina	13	12	14	17	...
isoleucina	30	36	26	30	28
leucina	52	28	37	39	66
fenilalanina	21	19	13	20	...
cisteina	17	10	8	11	...
lisina	31	6	28	12	58
histidina	19	21	17	32	19
tirosina	82	22	58	24	...
glutamina	46	89	31	65	...
triptofano	12	14	13	11	11

Fuente: Rev. Soc. Quím. Perú. 79 (1) 2013.

Figura 40. Contenido en mg/g de proteína de dos especies de Sacha inchi.

Cuadro 7. Análisis de varianza de Nitrógeno absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N (Kg/ha)	12	0.98	0.97	8.76

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46377.99	5	9275.6	74.43	<0.0001
Bloques	441.99	3	147.33	1.18	0.3924
Trats.	45936	2	22968	184.3	<0.0001
Error	747.74	6	124.62		
Total	47125.73	11			

Cuadro 8. Análisis de varianza de Fósforo absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P (Kg/ha)	12	0.97	0.94	17.76

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1800.19	5	360.04	33.3	0.0003
Bloques	89.21	3	29.74	2.75	0.1348
Trats.	1710.99	2	855.49	79.12	<0.0001
Error	64.88	6	10.81		
Total	1865.07	11			

Cuadro 9. Análisis de varianza de Potasio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K (Kg/ha)	12	0.97	0.94	14.78

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46438.18	5	9287.64	39.73	0.0002
Bloques	487.01	3	162.34	0.69	0.5883
Trats.	45951.17	2	22975.59	98.3	<0.0001
Error	1402.44	6	233.74		
Total	47840.62	11			

Cuadro 10. Análisis de varianza de Calcio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca (Kg/ha)	12	0.99	0.94	7.64

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19155.05	5	3831.01	102.6	<0.0001
Bloques	113.56	3	37.85	1.01	0.4496
Trats.	19041.49	2	9520.74	254.99	<0.0001
Error	224.03	6	37.34		
Total	19379.07	11			

Cuadro 11. Análisis de varianza de Magnesio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg (Kg/ha)	12	0.98	0.94	11.68

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	629.03	5	125.81	52.51	0.0001
Bloques	25.39	3	8.46	3.53	0.0882
Trats.	603.64	2	301.82	125.96	<0.0001
Error	14.38	6	2.4		
Total	643.41	11			

Cuadro 12. Análisis de varianza de Sodio absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na (Kg/ha)	12	0.97	0.94	13.68

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	172.44	5	34.49	34.02	0.0022
Bloques	19.98	3	6.66	6.57	0.0252
Trats.	152.46	2	76.23	75.2	0.0001
Error	6.48	6	1.01		
Total	178.52	11			

Cuadro 13. Análisis de varianza de Zinc absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn (Kg/ha)	12	0.99	0.94	7.61

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	900828.17	5	180165.63	97.51	<0.0001
Bloques	11022.17	3	3674.06	1.99	0.2172
Trats.	889806	2	444903	240.78	<0.0001
Error	11086.42	6	1847.74		
Total	911914.58	11			

Cuadro 14. Análisis de varianza de Manganeso absorbido por plantas de sachá inchi en segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mn (Kg/ha)	12	0.99	0.94	5.43

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1858556.29	5	371711,26	107.76	<0.0001
Bloques	2484.4	3	828.13	0.24	0.8655
Trats.	1856071.9	2	928035.95	269.04	<0.0001
Error	20696.8	6	3449.47		
Total	1879253.09	11			

Cuadro 15. Análisis de varianza de Cobre absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cu (Kg/ha)	12	0.98	0.94	8.78

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	270363.74	5	54072.75	26.4	0.0005
Bloques	2198.05	3	732.68	0.36	0.786
Trats.	268165.7	2	134082.85	65.46	0.0001
Error	12289.8	6	2048.3		
Total	282653.54	11			

Cuadro 16. Análisis de varianza de Hierro absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fe (Kg/ha)	12	0.94	0.94	11.42

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3722081.42	5	744416.28	19.85	0.0011
Bloques	120450.98	3	40150.33	1.07	0.4291
Trats.	3601630.44	2	1800815.22	48.03	0.0002
Error	224969.46	6	37494.91		
Total	3947050.88	11			

Cuadro 17. Análisis de varianza de Boro absorbido por plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
B (Kg/ha)	12	0.94	0.89	15.14

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	262451.37	5	52490.27	18.73	0.0013
Bloques	1914.13	3	638.04	0.23	0.874
Trats.	260537.24	2	130268.62	46.48	0.0002
Error	16817.71	6	2802.95		
Total	279269.08	11			

Cuadro 18. Análisis de varianza de Materia Seca de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ms (Kg/ha)	12	0.98	0.96	7.06

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	44.78	5	8.96	59.66	<0.0001
Bloques	0.65	3	0.22	1.45	0.3189
Trats.	44.13	2	22.06	146.98	<0.0001
Error	0.9	6	0.15		
Total	45.68	11			

Cuadro 19. Análisis de varianza del Rendimiento de plantas de sachá inchi en su segundo ciclo de producción.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (Kg)	12	0.89	0.8	10.46

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	450.57	5	90.11	9.92	0.0073
Bloques	85.36	3	28.45	3.13	0.1088
Trats.	365.21	2	182.61	20.09	0.0022
Error	54.53	6	9.09		
Total	505.09	11			



Figura 41. Campo experimental, mostrando letreros y descripción de tratamientos.



Figura 42. Identificación del T₁



Figura 43. Identificación del T₂.



Figura 44. Identificación del T₃.



Figura 45. A y B. Visita y verificación de jurado a proyecto de tesis.



Figura 46. Tesista con letrero de Tesis.



Figura 47. Tesista con cultivo de sachá inchi.



Figura 48. Sacha inchi con frutos maduros e inmaduros.



Figura 49. A. Calles de parcela desmalezadas. B. Plantas frondosas de Sacha Inchi. C. Plantas muestreadas (Espacios entre plantas).



Figura 50. Foto panorámica de campo experimental vista de arriba.