

ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) EN CAMPO DEFINITIVO EN LA PROVINCIA DE SAN MARTÍN, PERÚ

Roger PICHIS-GARCÍA^{1*}, Karla MENDOZA-LÓPEZ², Lincoln ALFARO-SAAVEDRA², Sandra RUÍZ-CORREA³, Karina ORDÓÑEZ-RUIZ³, Betsabé LEÓN-TTACCA⁴

¹Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – Tarapoto, Jr. Belen Torres de Tello 135, Tarapoto - San Martín - San Martín - Morales - Perú.

²Universidad César Vallejo, Carretera Marginal Norte Fernando Belaúnde Terry Km.8.5, Cacatachi, San Martín, Perú.

³Universidad Nacional de San Martín, Jr. Maynas N° 177, Tarapoto – Perú.

⁴Universidad Nacional de Cañete, Av. Mariscal Benavides 1370 Casa de la Cultura, San Vicente de Cañete Lima, Perú.

Correo electrónico: rp1.garcia7@gmail.com

RESUMEN

El sacha inchi, tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, siendo un cultivo prometedor para comunidades locales e industria alimentaria. Sin embargo, para mejorar su producción y calidad, es esencial entender sus requerimientos nutricionales, por lo cual el objetivo de este estudio fue evaluar la absorción de nutrientes, el crecimiento y rendimiento del sacha inchi en campo definitivo en la provincia de San Martín, Perú. Utilizaron un diseño de bloque completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, aplicando, Nitrato de Amonio (NH_4NO_3), Superfosfato Triple $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y Cloruro de Potasio (KCl), en tres dosis: T0 = dosis baja, T1= dosis media y T2= dosis alta, realizaron cinco muestreos de partes botánicas. El tratamiento T2, mostró mejores resultados en comparación con los demás tratamientos, mostrando que, el nitrógeno, fósforo y calcio (N-P-Ca) fueron los macronutrientes más absorbidos y el sodio, hierro y manganeso (Na-Fe-Mg), los micronutrientes más absorbidos. Este tratamiento también mostró mejores resultados en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Finalmente, lograron determinar los nutrientes más empleados por el sacha inchi en cada una de las etapas fenológicas evaluadas, mejorando el crecimiento y rendimiento del cultivo, demostrando la gran importancia de la nutrición mineral en las plantas.s.

PALABRAS CLAVE: nutrición mineral, macronutrientes, micronutrientes, curva de crecimiento

NUTRIENT ABSORPTION OF SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis* L.) IN DEFINITIVE FIELD IN THE PROVINCE OF SAN MARTÍN, PERU

ABSTRACT

Sacha inchi has a high content of polyunsaturated fatty acids and is a promising crop for local communities and the food industry. However, to improve its production and quality, it is essential to understand its nutritional requirements, so the objective of this study was to evaluate the nutrient uptake, growth and yield of sacha inchi in final field in the province of San Martin, Peru. They used a randomized complete block design with three treatments and four replicates, applying ammonium nitrate (NH_4NO_3), triple superphosphate $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and potassium chloride (KCl), in three doses: T0 = control, T1= medium dose and T2= high dose, and five samplings of botanical parts. Treatment T2 showed better results compared to the other treatments, showing that nitrogen, phosphorus and calcium (N-P-Ca) were the most absorbed macronutrients and sodium, iron and manganese (Na-Fe-Mg) were the most absorbed micronutrients. This treatment also showed better results in the growth and yield of the crop. Finally, they were able to determine the nutrients most used by sacha inchi in each of the phenological stages evaluated, improving the growth and yield of the crop, demonstrating the great importance of mineral nutrition in plants.

KEY WORDS: mineral nutrition, macronutrients, micronutrients, growth curve

INTRODUCCIÓN

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), miembro de la familia Euphorbiaceae y originario de la selva tropical sudamericana (Pezo *et al.*, 2019), cuenta con una diversidad genética de 51 ecotipos distribuidos en varios departamentos del Perú. (Cachique *et al.*, 2018; Restrepo-Osorio *et al.*, 2020). Con un contenido excepcional de proteínas (33%) y aceites esenciales ricos en ácidos grasos omega-3, omega-6 y omega-9 (Supriyanto *et al.*, 2022; Norhazlindah *et al.*, 2023), este cultivo ha sido reconocido por su potencial tanto a nivel regional como internacional, incluso siendo incluido en las dietas recomendadas por la Unión Europea (Núñez-Rodríguez *et al.*, 2021b).

En la página, PeruBioInnova (2017), se muestra el rendimiento del sacha inchi en San Martín, registrándose incrementos desde los 250 Kg.ha⁻¹ año, en el 2006 hasta los 1500 Kg.ha⁻¹ año, durante el 2015. Según Nuñez *et al.* (2021a), este rendimiento ha sido variable sin embargo contribuyó significativamente al desarrollo económico de la región, aunque la tecnificación aún es incipiente.

La fertilización y el riego son factores clave que influyen en el rendimiento de este cultivo, porque estos comienzan a perder rendimiento a partir del año y medio, lo cual requiere una comprensión más profunda de sus requerimientos nutricionales para optimizar su producción (Rhebergen *et al.*, 2019). A pesar de la importancia de este cultivo, existe una carencia notable de información sobre su nutrición y absorción de nutrientes, por lo que es necesario determinar planes de fertilización y desarrollo de métodos que permitan mantener o aumentar sus rendimientos, evitando limitar su aprovechamiento total (Pezo *et al.*, 2019).

Por lo tanto, en esta investigación se propuso evaluar la absorción de nutrientes, el crecimiento y rendimiento del sacha inchi en condi-

ciones de campo definitivo en la provincia de San Martín, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue llevada a cabo en la estación experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - San Martín (IIAP-SM), ubicada en Bello Horizonte, Tarapoto, San Martín, Perú (06° 31' 39.6" S; 76° 17' 58.3" O; 320 m s.n.m.). Se emplearon plantas de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi - Accesión Mishquiyacu) y tres fertilizantes inorgánicos: nitrato de amonio (NH_4NO_3), superfosfato triple $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y cloruro de potasio (KCl), con 33% de nitrógeno, 46% de fósforo y 60% de potasio, respectivamente.

La parcela tuvo un área neta de 75 m de largo x 54 m de ancho, con tres tratamientos (T0, T1, T2), distribuidos en un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) y cuatro repeticiones. Cada bloque tenía 75 m de largo x 12 m de ancho, con 3 hileras de plantas de sacha inchi, espaciadas a 3 m. entre plantas e hileras, totalizando 75 plantas por unidad experimental, con tutores muertos donde se sostienen las plantas de sacha inchi, espaciados a 6 metros. Los bordes del área experimental se delimitaron con plantas de sacha inchi como barreras naturales.

Las dosis de fertilización fueron formuladas, basándose en la relación N-P-K (Nitrógeno-Fósforo-Potasio) y en ensayos anteriores, además, se determinaron considerando las propiedades físicas y químicas del suelo (Tabla 1), proponiéndose finalmente las siguientes dosis en gramos/planta: T0: 0-0-0 (control), T1: 62,07-4,3-23,8 y T2: 108,03-9,26-39,62, con los fertilizantes: NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y KCl, los cuales fueron aplicados fraccionadamente en dosis específicas (Tabla 2), 15 días antes de cada muestreo.

La evaluación fue desarrollada, en un período

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo en parcela experimental. M.O: microorganismos, C.E: conductividad eléctrica, C.I.C: capacidad de intercambio catiónico.

% Arena	% Arcilla	% M.O	pH	C.E. dS.m ⁻¹	P mg.Kg ⁻¹	K mg.Kg ⁻¹	C.I.C mg.Kg ⁻¹	Ca cmol.Kg ⁻¹	Mg cmol.Kg ⁻¹	Na cmol.Kg ⁻¹
67	17	0,97	4,7	0,09	6,6	45	6,4	2,77	0,57	0,1

Tabla 2. Dosis en gramos de fertilización (NPK) de los aportes fraccionados de fertilizantes para la producción de plantas de sacha inchi. T0: Control; T1: Dosis media; T2: Dosis alta.

Tratamientos	Aplicación	NH ₄ NO ₃	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	KCl
T0	Dosis 1	0	0	0
	Dosis 2	0	0	0
	Total aplicado	0	0	0
T1	Dosis 1	31,03	2,15	11,9
	Dosis 2	31,03	2,15	11,9
	Total aplicado	62,07	4,3	23,8
T2	Dosis 1	54,02	4,63	19,81
	Dosis 2	54,02	4,63	19,81
	Total aplicado	108,03	9,26	39,62

de 18 meses (540 días), con cinco muestreos de partes botánicas (tallos, hojas y frutos). Estos muestreos se realizaron a los 90, 120, 240, 455 y 545 días después de la siembra (DDS), totalizando 180 muestras botánicas. Las deficiencias del suelo fueron corregidas con la aplicación de 2 a 4 g de zinc en forma de sulfato de zinc y realizaron aplicaciones del producto comercial, Fetrilon Combi (mezcla de micronutrientes), cada 15 días, a una concentración de 0,1% a 0,2% en todas las plantas, antes de cada muestreo, para corregir deficiencias de micronutrientes. Las muestras recolectadas fueron sometidas a una estufa a temperatura constante de 72 °C durante 3 días y analizadas en el laboratorio de aguas, tejidos y suelos de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto.

La evaluación de los parámetros siguió la metodología establecida por Bertsch (2005). Utilizaron 180 muestras para determinar la absorción de nutrientes, expresados en kg.ha⁻¹,

mediante digestión perclórica. Evaluaron la absorción de los macronutrientes (%): nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como los micronutrientes (ppm): sodio (Na), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B) y hierro (Fe). Además, evaluaron el crecimiento de las plantas, expresados en materia seca y en kg.ha⁻¹, y el rendimiento del cultivo mediante cosechas manuales de frutos y granos, expresados en kg.ha⁻¹. Los resultados obtenidos, entre tratamientos y bloques, fueron procesados estadísticamente mediante la prueba de contraste de Scott y Knot, consideraron un 5% de significancia, con ayuda del programa estadístico Infostad, versión 1,1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES

En la Figura 1, se observa la diferencia signifi-

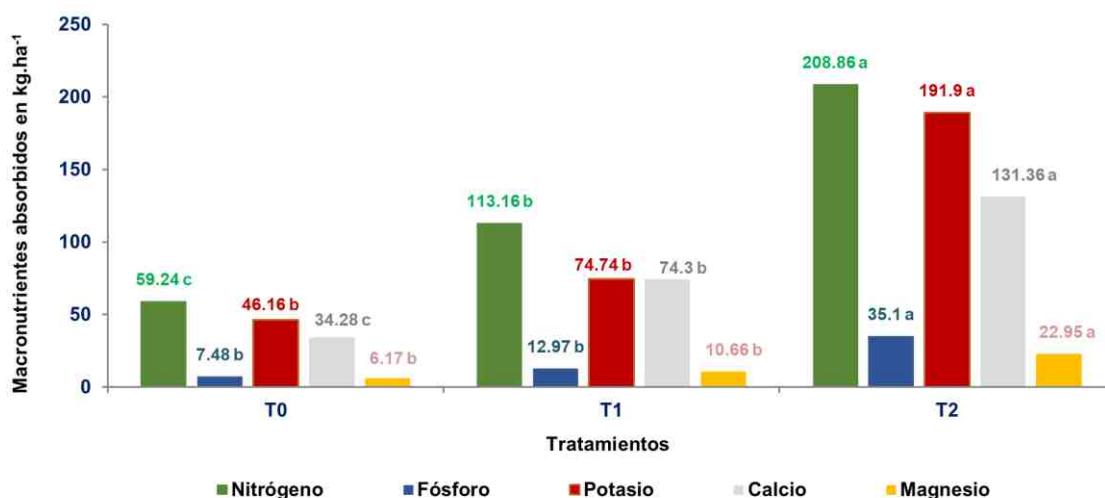


Figura 1. Macronutrientes absorbidos por plantas de sacha inchi en campo definitivo expresados en kg.ha⁻¹. T0: Control, T1: Dosis media, T2: Dosis alta. Letras distintas en los datos indican diferencias significativas según la prueba de Scott y knott ($P \leq 0,05$).

cativa y numérica entre tratamientos, destacándose el tratamiento 2 (T2), como el que obtuvo los mejores resultados. Este tratamiento también mostró la mayor absorción de nitrógeno (N), potasio (K+) y calcio (Ca++), con valores de 208,86 kg.ha⁻¹; 191,9 kg.ha⁻¹ y 131,36 kg.ha⁻¹, respectivamente. Además, se observó que el magnesio (Mg++) fue el macronutriente menos absorbido, con 22,95 kg.ha⁻¹, debajo del fósforo (P), que registró una absorción de 35,1 kg.ha⁻¹.

En cuanto a la absorción de macronutrientes a lo largo del tiempo (Figura 2), se evidencia que la relación (N-K-Ca), se mantuvo consistente durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo (crecimiento, floración, fructificación, producción constante-período de latencia o reposo) y en cada uno de los tratamientos establecidos, lo que sugiere una estabilidad en los patrones de absorción de nutrientes a lo largo del ciclo de vida de las plantas de sacha inchi en estudio.

De los macronutrientes evaluados, se observó que el nitrógeno fue el más absorbido por las plantas de sacha inchi, lo cual es consistente con la literatura existente, ya que este elemento

es fundamental para el crecimiento y desarrollo vegetal y suele ser el más abundante y deficiente en las plantas (Rodríguez-Yzquierdo *et al.*, 2020), esto ocurre debido a la alta necesidad de este nutriente en los componentes de la célula vegetal, el nitrógeno funciona como un activador de enzimas, participa en la producción de aminoácidos y ácidos nucleicos esenciales para la división celular en la planta (Silva *et al.*, 2017; Eguez *et al.*, 2022).

Aunque convencionalmente se espera que el fósforo sea el segundo macronutriente más absorbido, ya que este elemento es muy móvil en las plantas (Silva *et al.*, 2017; Eguez *et al.*, 2022; Capa, 2015; Sancho *et al.*, 2019) y se encuentran en altas cantidades en los tejidos meristemáticos (Meier *et al.*, 2021; Viera *et al.*, 2022), este estudio no es congruente con lo que mencionan estos autores, ya que nuestros resultados, muestran que el segundo macronutriente más absorbido, fue el potasio, siendo este elemento el encargado de activar los ciclos enzimáticos en las plantas (Silva *et al.*, 2017; Eguez *et al.*, 2022).

Igualmente otros autores, explican que el potasio es un componente que ejerce un impacto

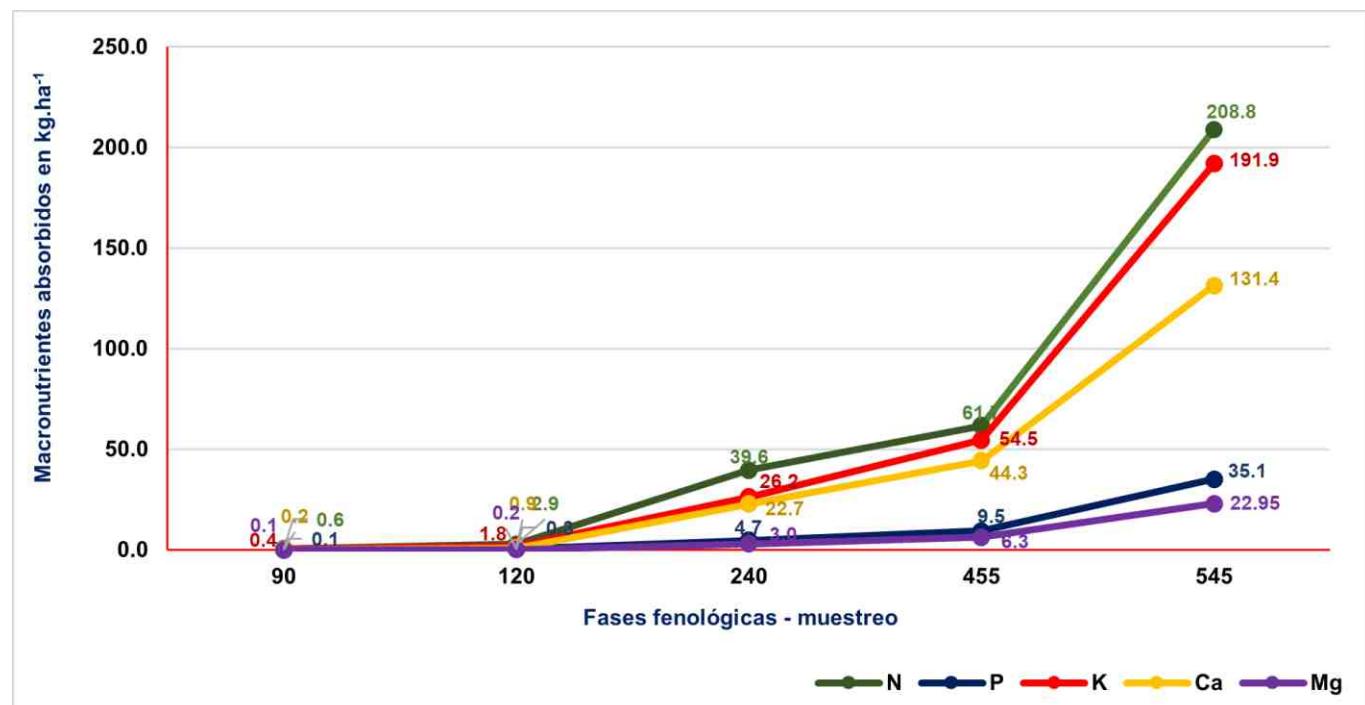


Figura 2. Absorción de macronutrientes en sus diferentes estados fenológicos a través del tiempo considerando resultados de dosis alta.

sobre la rapidez de crecimiento en un cultivo, sobretodo en el área foliar (Chávez *et al.*, 2018), siendo congruente con este estudio, puesto que sacha inchi, muestra abundante biomasa. El tercer macronutriente más absorbido por sacha inchi, fue el calcio, el cual según algunos autores está vinculado con la relación Ca/K, ya que, si existió niveles altos de absorción de potasio, debería existir niveles altos de absorción de Calcio (Chaganti & Culman, 2017; Singh *et al.*, 2017), de acuerdo a las dosis o tratamientos utilizados (Ilyas *et al.*, 2021), además está involucrado con la asimilación del nitrógeno (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2022); los resultados además muestran la poca absorción del Magnesio, corroborando los resultados, referentes a la absorción de fósforo, porque, éste participa en la transferencia del fósforo en la planta (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2022). Dichos resultados, sugieren una preferencia particular del sacha inchi, por estos nutrientes; lo cual resalta la importancia de comprender las necesidades es-

pecíficas de macronutrientes de cada cultivo, así como adaptar las prácticas y dosis de fertilización.

ABSORCIÓN DE MICRONUTRIENTES

Se observa la diferencia significativa y numérica entre tratamientos (Figura 3), destacándose el tratamiento 2 (T2) como el que obtuvo los mejores resultados. Este tratamiento muestra la mayor absorción de sodio (Na) y fierro (Fe), con 12,34 kg.ha⁻¹; 2,41 kg.ha⁻¹, respectivamente. Además, se observa que el boro (B) fue el micronutriente menos absorbido, con 0,55 kg.ha⁻¹, debajo del Cobre (Cu), que registró una absorción de 0,67 kg.ha⁻¹.

En cuanto a la absorción de micronutrientes a lo largo del tiempo, representada en la Figura 4, se evidencia que la relación de absorción, se mantuvo consistente durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo; siendo el sodio, el micronutriente más absorbido por las plantas de sacha inchi, lo cual no es congruente con mu-

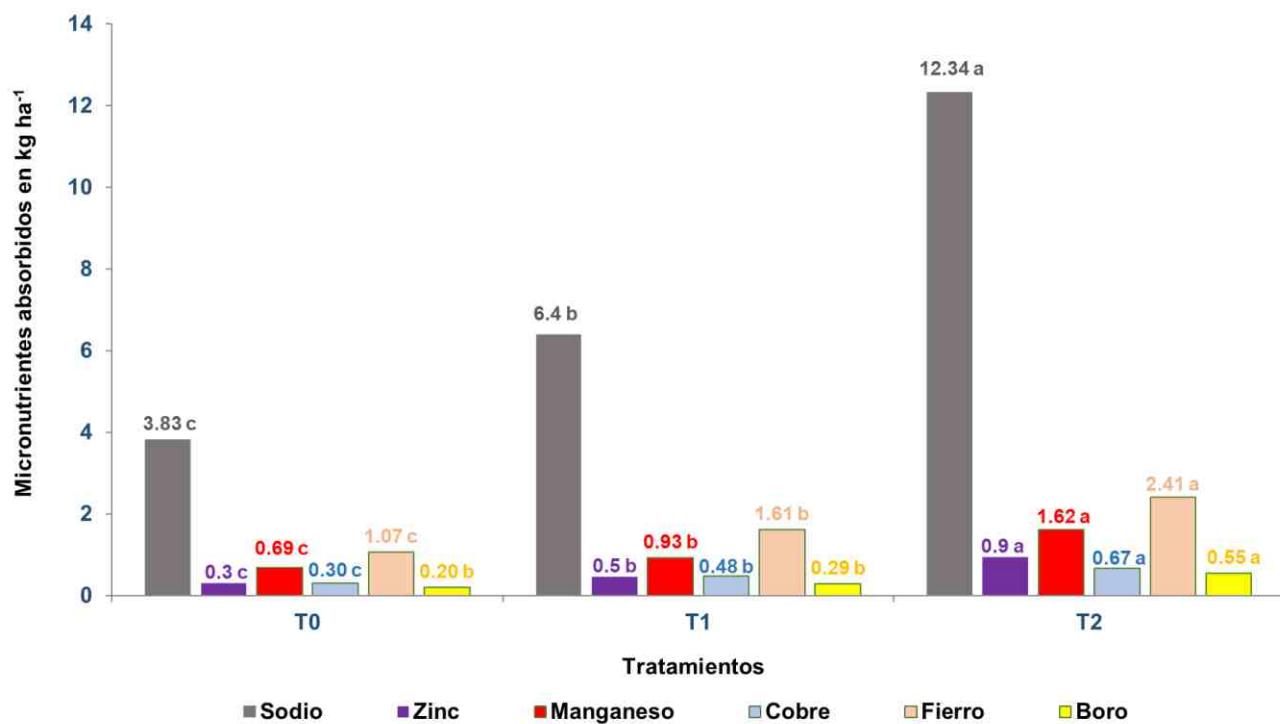


Figura 3. Micronutrientes absorbidos por plantas de sacha inchi en campo definitivo expresados en kg.ha⁻¹. T0: Control, T1: Dosis media, T2: Dosis alta. Letras diferentes en los datos indican diferencias significativas según la prueba de Scott y knott ($P \leq 0,05$).

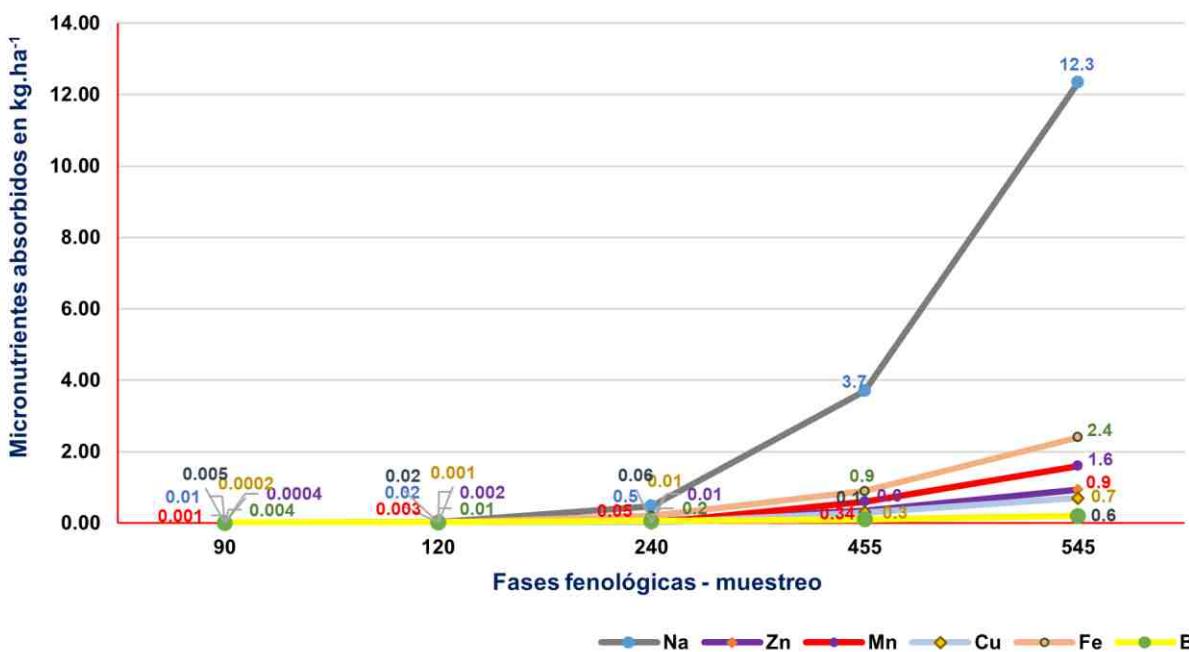


Figura 4. Absorción de micronutrientes en sus diferentes estados fenológicos a través del tiempo considerando resultados de dosis alta.

chos autores, porque el sodio, no es considerado como un elemento esencial, sin embargo, es necesario y requerido por varios cultivos, como lo demuestran investigaciones realizadas con plantas que tienen procesos metabólicos del tipo C4 (O'Geen, 2018; Naranjo-Morán, 2018; Rodriguez & Vicente, 2021), estos reportes, podrían estar relacionados con factores externos e internos de la planta, determinados por la carga genética de cada cultivo, el sodio, puede llegar a sustituir al elemento potasio, además participa en la síntesis de clorofila y mejora el metabolismo, facilitando la apertura y cierre de estomas, mejorando internamente el balance hídrico (García *et al.*, 2018; Baran, 2021).

Los microelementos más absorbidos, después del sodio, fueron el fierro y el manganeso, ya que, estos elementos junto con el fierro forman y sintetizan la clorofila ayudando a la germinación de las semillas, así como a la maduración e incrementan la utilización del calcio, fósforo y magnesio (Gil *et al.*, 2022; Bazán *et al.*, 2022; Rodriguez-Rodriguez *et al.*, 2022).

El fierro es uno de los microelementos más absorbidos por el cultivo del sacha inchi, debido a que este elemento forma ligandos, simples y complejos con varios elementos, como es el caso de los ácidos orgánicos y fosfatos, este elemento puede cambiar de valencia con mucha facilidad y dentro de la fotosíntesis es responsable del transporte de electrones (Osejos *et al.*, 2018; Naranjo-Morán *et al.*, 2021).

Los resultados, abordaron que el cobre y el boro fueron los micronutrientes menos absorbidos, pero en la etapa de floración, hubo un aumento en la absorción del boro, porque está implicado en la fertilidad del tubo polínico y en la translocación de azúcares, además es esencial para fijar el nitrógeno y permitir que el floema (medio conductor de nutrientes) actúe como transportador de fotosintatos y azúcares,

permitiendo la síntesis del ácido giberélico, participando en el metabolismo del ARN (Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Rodríguez-Yzquierdo *et al.*, 2020). Estos elementos, posiblemente fueron menos absorbidos, porque los requerimientos del cultivo, habían sido cubiertos, con la absorción de los otros elementos; estos nutrientes, forman parte de la composición de las proteínas en el cloroplasto, llamada, plastoquinina, y tienen funciones similares a las del fierro, además su función principal está en el proceso redox y también son responsables de fijar el nitrógeno que se encuentra en el aire; forman parte de un grupo de enzimas: polifenol oxidasa, citocromo oxidasa y ácido ascórbico oxidasa, reduciendo la cantidad de oxígeno en las moléculas, cuando catalizan o participan en procesos relacionados con la oxidación (Esquivel, 2020; Roca & Gue rrero, 2021).

También se puede denotar, que el elemento zinc, registró un menor valor numérico de absorción, posiblemente porque este elemento es poco móvil, y generalmente pudo haberse acumulado en las raíces maduras y hojas viejas de las plantas (Osejos *et al.*, 2018; López-Padrón *et al.*, 2020), permitiendo la mayor fijación de nitrógeno dentro de las células vegetales, ya que pertenece a las fitohormonas y enzimas (hormonas vegetales), que son primordiales para sintetizar auxinas, en particular dentro de la formación de triptófano y finalmente formar ácido indolacético (Esquivel, 2020; Blanco & Castro, 2021).

CRECIMIENTO DE PLANTAS

En la evaluación de este parámetro, el tratamiento 2 obtuvo los mejores resultados, con 8,04 kg.ha⁻¹ de materia seca (Figura 5), en comparación con los demás tratamientos, mostrando diferencias significativas, asimismo, la figura muestra que el tratamiento (T0) fue el que obtu-

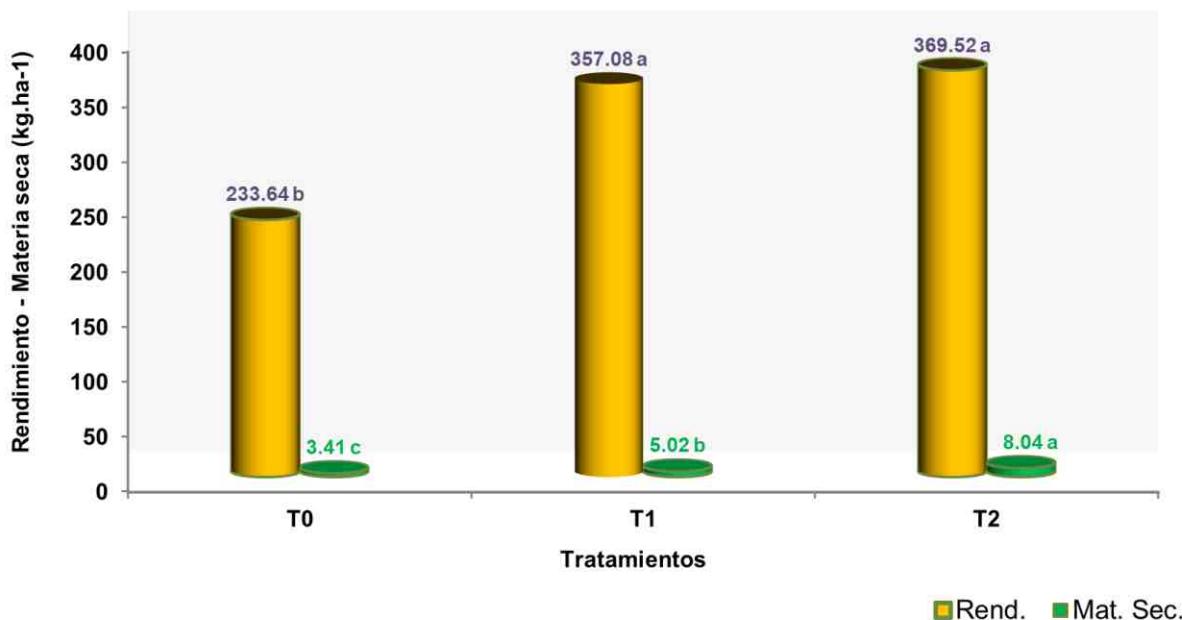


Figura 5. Materia seca y rendimiento de plantas de sacha inchi en campo definitivo expresado en kg.ha⁻¹. T0: Control, T1: Dosis media, T2: Dosis alta. Letras distintas en los datos indican diferencias significativas según la prueba de Scott y knott ($P \leq 0.05$).

vo el menor valor de materia seca, con 3,41 kg.ha⁻¹.

Para la evaluación de la materia seca acumulada, se utilizaron los datos del análisis de las muestras utilizadas para la absorción de nutrientes, obteniéndose los mejores resultados con las plantas del tratamiento 2, cuyo tratamiento tuvo la dosis alta de fertilización, confirmando como menciona Pineda (2022), que las plantas pueden tomar nutrientes del suelo y del aire, además, si el suelo es abastecido con los nutrientes disponibles, las plantas adquieren lo necesario para desarrollarse normalmente, incrementar la biomasa y peso fresco, además de lograr rendimientos adecuados, y por el contrario, Fonseca-López *et al.* (2020), mencionan que si las plantas no cuentan con los nutrientes necesarios, las plantas limitarán su desarrollo y crecimiento, como se demostró con las plantas del tratamiento 0 (T0). Por lo tanto, según los resultados obtenidos, el suelo donde se realizó este estudio, cuya característica, fue de arcillo

arenoso, presentaba adecuadas concentraciones naturales de nutrientes para el crecimiento vegetal del sacha inchi (Ferro, *et al.*, 2023; Aguilar-Carpio, *et al.*, 2022).

Al evaluar los parámetros de crecimiento, se denotó la absorción del elemento Nitrógeno, ya que este elemento forma parte de los componentes estructurales y funcionales (Guzmán & Montero, 2021), pero no es congruente con lo mencionado con respecto al fósforo, ya que ambos elementos, mejoran la morfología de las plantas, además del crecimiento radicular, y si existiera una deficiencia de fósforo, las plantas no se desarrollarían (Razaq *et al.*, 2017), pero no se reportó este resultado en el presente estudio. Con el parámetro de crecimiento se confirma que el elemento Calcio, es uno de los macronutrientes preferidos por el sacha inchi, ya que, influye en el crecimiento de pelos radiculares, mejorando la absorción de nutrientes, promoviendo el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Fajardo, 2023), debido a que este

elemento forma parte de la pared celular y juega un papel estructural, regulando la permeabilidad de las membranas, lo cual es fundamental en el crecimiento y elongación de las células, permitiendo el desarrollo de los cultivos (González *et al.*, 2020; Ferro *et al.*, 2020).

RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Los resultados para este parámetro indican diferencias entre tratamientos, donde los mejores resultados fueron alcanzados por las plantas del tratamiento 2, con $369,52 \text{ kg.ha}^{-1}$, pero sin diferencia significativa con el tratamiento 1, (Figura 5), donde también se indica que el T0 obtuvo los rendimientos más bajos, con $233,04 \text{ kg.ha}^{-1}$.

La importancia de la nutrición mineral y la disponibilidad de nutrientes, en las etapas requeridas, en términos de rendimiento e incluso calidad del producto, se vio reflejada en las plantas del tratamiento 2, las cuales presentaron las dosis más altas y mucho más nutrientes disponibles (Aguilar *et al.*, 2019, Díaz *et al.*, 2013); del mismo modo Gonzales *et al.* (2020), obtuvo mejores rendimientos con la dosis más alta de fertilización, confirmando los resultados de absorción de calcio.

En el presente trabajo, la absorción de magnesio se vio reflejada en la producción de granos y frutos, debido a que el magnesio es un nutriente fundamental para el crecimiento y desarrollo de todos los cultivos y es altamente demandado en el metabolismo vegetal, además forma parte esencial como molécula de la clorofila, y contribuye a la producción de energía, haciendo del magnesio un elemento indispensable en las funciones metabólicas, y este elemento representa el 3% en la materia seca en los órganos vegetales (Ferro *et al.*, 2020; Aguilar-Carpio, *et al.*, 2022), aún si los niveles de absorción, fueron bajos, la cantidad de magnesio, fue la adecuada para que las plantas de sacha inchi, cumplieran con los

rendimientos esperados.

Los resultados reportados en los análisis de las muestras, indicaron la absorción de calcio, como se muestra en párrafos anteriores, que se refleja en el desarrollo de los meristemos apicales y la acumulación de nitrato, así como en los rendimientos, a través de la maduración de los frutos y la longevidad de la producción constante de frutos (Fonseca-López *et al.*, 2020; Ferro *et al.*, 2020). Los resultados son congruentes con las cantidades de Ca, reportados en este estudio, expresados en el incremento de los rendimientos según las dosis de los tratamientos utilizados (Antonangelo *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Durante el segundo año de producción del cultivo de sacha inchi, se observó una alta absorción de nitrógeno (N), siendo el macroelemento más absorbido con $208,86 \text{ kg.ha}^{-1}$, seguido por una menor absorción de magnesio (Mg) con $22,95 \text{ kg.ha}^{-1}$. Respecto a los microelementos, el sodio (Na) fue el más absorbido con $12,34 \text{ kg.ha}^{-1}$, mientras que el boro (B) mostró la menor absorción con $0,55 \text{ kg.ha}^{-1}$.

El tratamiento T2 destacó por su efectividad en el crecimiento, acumulando 8,04 kg de materia seca hasta los 545 días después de la siembra, así como en el rendimiento, alcanzando un total de $369,52 \text{ kg.ha}^{-1}$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - Tarapoto, por facilitarnos el área agrícola y utilizarla como campo experimental para este estudio. Asimismo, un sincero agradecimiento a la Dirección Regional de Agricultura - San Martín, que contribuyó económicamente para realizar los análisis de tejidos vegetales requeridos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Carpio, C.; Cervantes-Adame, Y.F.; Sorza-Aguilar, P.J.; Escalante-Estrada, J.A.S. 2022. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-12. e1059. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1059>
- Aguilar, C.; Alcántara, J.; Leyva, S.; Ayvar, S.; Díaz, G. 2019. Yield and profitability of papaya genotypes as a function of chemical, organic and biological fertilization. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3):1-10. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1498>
- Antonangelo, J.A.; Culman, S.; Zhang, H. 2024. Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*. 4:1371777. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1371777>
- Baran, E.J. 2021. *Metaloenzimas de plantas*. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie: Publicaciones científicas N° 17. 165pp.
- Bazán, M.A.; Rodríguez, A.; Bazán, W.; Chávez, N. 2022. Impact of Iron, Magnesium and Manganese on Arugula Chlorosis in Hydroponic Systems. *Revista Industrial Data*, 25(2):7-28. DOI: <https://doi.org/10.15381/10.15381/idata.v25i2.23591.g19053>
- Bertsch, F. 2005. *Absorción de nutrientes por los cultivos: Información disponible y usos de los estudios de absorción*. Agronomic Research Center, University of Costa Rica, ACCS. 2pp.
- Blanco, E. L.; Castro, Y. 2021. Antagonism of rhizobacteria on phytopathogenic fungi, and their microbial activity with biofertilizer, biostimulant and biocontrol potential. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1):6-16. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.84808>
- Capa, E. 2015. *Effect of organic and mineral fertilization on soil properties, emission of major greenhouse gases and on the different phenological stages of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivation*. Doctoral thesis. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, Spain. 214pp.
- Cachique, D.; Solsol, H.; Sanchez, M.; López, L.; Kodahl, N. 2018. Vegetative propagation of the underutilized oilseed crop sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(7):2027-2036. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0659-9>
- Chaganti, V.N.; Culman, S.W. 2017. Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. *Crop Forage Turfgrass Manage*, 3: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.2134/cftm2016.10.0072>
- Chávez, E.S.; Ruiz, J.M.; Romero, L.; Preciado-Rangel, P.; Flores-Córdova, M.A.; Márquez-Quiroz, C. 2018. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), 387-398. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757>
- Díaz, A.; Ortiz, F.E.; Lozano, M. G.; Aguado, G. A.; Grageda, O. A. 2013. Growth, mineral absorption, and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research*, 8(28), 3764-3769. DOI: <http://doi.org/10.5897/AJAR2012.6662>
- Eguez, E.; León, L.; Loor, J.; Pacheco, L. 2022. Deficiencia nutricional de macronutrientes en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en solución nutritiva. *Revista de Investigación Talentos*, 9(1): 2631-2476. DOI: <https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.162>
- Espinosa-Antón, A. A.; Hernández-Herrera, R.

- M.; Gonzales-Gonzales, M. 2020. Bioactive seaweed extracts as biostimulants for plant growth and protection. *Plant Biotechnology*, Vol. 20, N°.4:257-282.
- Esquivel, G. 2020. *Importance of Iron (Fe) in agriculture. Company dedicated to commercialize, distribute, develop and package products for the agricultural sector and industrial chemical inputs.* DROKASA, Peru, Lima. 12pp.
- Fajardo, E. 2023. *Calidad y rendimiento de frutos de chilhuacle (Capsicum annuum l.) en respuesta a la nutrición y podas de conducción.* Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuernavaca, México. 128pp.
- Ferro, D.A.; Lozano, L.A.; Bartoli, C.G.; Fanello, D. D.; Larrieu, L.; Millan, G.J.; Soracco, C. G. 2020. Availability and ratio of calcium and magnesium. *Journal of the Faculty of Agronomy*, 119(2):1-10. DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e057>
- Ferro, D.A.; Andreini, B.L.; Lozano, L.A.; Merani, V.H.; Bongiorno, F.M.; Larrieu, L.; Millán, G.J.; Soracco, C.G. 2023. Predicción de la concentración de calcio soluble en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Ciencias Agronómicas*, (41), e031-e031. DOI: <https://doi.org/10.35305/ago41.e031>
- Fonseca-López, D.; Quila, N.J.V.; Balaguera-López, H.E. 2020. Techniques applied in agricultural research to quantify nitrogen fixation: A systematic review. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 21(1):1-19. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1342
- García, M.A.; García, J.F.; Quito, C.A. 2018. Effect of salinity by NaCl on plant growth and development of *Chenopodium quinoa* Willd. *Science In Development*, 10(1):19-29. DOI: <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n1.2019.8341>
- Gil, L.; Leiva, F.; Cabos, J.; Jara, E.; Bardales, C.; León, C. 2022. Influence of "biol" concentrations on the growth and development of *Medicago sativa* (Fabaceae) "alfalfa". *Arnaldoa*, 29 (1):149-162. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29109>
- González, M.; Ríos, D.; Peña-Rojas, K.; García, E.; Acevedo, M.; Cartes, E.; Sánchez-Olate, M. 2020. Effect of phosphorous and calcium concentration on morpho-physiological attributes and root growth potential of *aextoxicon punctatum* plants produced by covered root during hardening stage. *Bosque*, 41(2):137-146. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200137>
- Guzmán, D; Montero, J. 2021. Interaction of bacteria and plants in nitrogen fixation. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. DOI: <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Ilyas, M.; Ayub, G.; Imran; Ali, A.; Ahmad, M. 2021. Calcium and Boron Effect on Production and Quality of Autumn Potato Crop Under Chilling Temperature. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), 375-388. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1854286>
- López-Padrón, I.; Martínez-González, L.; Pérez-Domínguez, G.; Reyes-Guerrero, Y.; Núñez-Vázquez, M.; Cabrera-Rodríguez, J. A. 2020. Algae and their uses in agriculture. An update. *Cultivos Tropicales. National Institute of Agricultural Sciences of Cuba*, Vol. 41(2).
- Meier, S.; Moore, F.; Morales, A.; Jobet, C.; López-Olivari, R.; Aponte, H.; Cartes, P.; Campos, P.; Khan, N. 2021. Interactive role between phosphorus utilization efficiency and water use efficiency. A tool to categorize wheats co-adapted to water and phosphorus limiting

- conditions. *Agricultural Water Management*, 248(2021): 106765. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106765>
- Naranjo-Morán, J.; Vera-Morales, M.; Mora-González, A. 2021. Iron accumulations in banana agroecosystems (Milagro, Ecuador): A literature review of some factors involved in crop health and nutrition. *Siembra*, 8(2):1-13. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2680>
- Norhazlindah, M.; Jahurul, M.; Norliza, M.; Shihabul, A.; Islam, S.; Nyam, K.L.; Zaidul, I.S.M. 2023. Techniques for extraction, characterization, and application of oil from sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17:904-915. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01663-0>
- Núñez-Rodríguez, J.J.; Carvajal-Rodríguez, J. C.; Ramírez-Novoa, L.L. 2021. Influence of climatic variations on sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) production. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(13):1499-1517. DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11269>
- Núñez, J.J.; Muñoz, M.F.; Peña, P.L.; Arámbula, C.I.; Carvajal, J.C.; Gonzales, M.S. 2021. Financial analysis of the sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, L) production chain in the department of Norte de Santander, Colombia. *Iberoamerican Journal of Bioeconomy and Climate Change*, Vol. 7, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12768>
- O'Geen, A. 2018. Drought tips: Reclaiming saline, sodic, and saline-sodic soils. In Drought tips: Reclaiming saline, sodic, and saline-sodic soils. *University of California, Agriculture and Natural Resources*, 8629:3-18. DOI: <https://doi.org/10.3733/ucanr.8629>
- Osejos, M.A.; Merino, M.C.; Osejos, J.F.; Merino, M.V.; Merchán, H.M.; Murillo, E.M. 2018. *Chemical elements and their effects in nature*. Editorial Científica 3 Ciencias. Alzamora, Alcoy, Alicante. DOI: <https://doi.org/10.17993/ccyll.2018.22>
- Pezo, M.; Márquez-Dávila, K.; Solis, R. 2019. El ácido giberélico incrementa el rendimiento de plantas adultas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 10(4): 455-460. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.04>
- PeruBioInnova. 2017. *Análisis de la cadena de valor del sacha inchi en San Martín al 2016*. PeruBioInnova, Lima, Perú. 57 pp.
- Pineda, A. 2022. Cyanobacteria, the alpha and omega: they changed our atmosphere and will be the last to go. *Bioika Magazine*. Issue 9: 2619-3191.
- Razaq, M.; Zhang, P.; Shen, H.; Salahuddin. 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *PLoS ONE*, 12(2): e0171321. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171321>
- Rhebergen, T.; Fairhurst, T.; Guiller, K.E.; Zingore, S. 2019. The influence of water and nutrient management on oil palm yield trends on a large-scale plantation in Ghana. *Agricultural Water Management*, Volumen 221: 377-387 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.003>
- Restrepo-Osorio, C.; Gil-Correal, A.; Chamorro-Gutierrez, L.; Ramírez-Ríos, V.; Álvarez, J.C.; Villanueva-Mejía, D. 2020. Eficient direct shoot organogenesis and genetic stability in micropropagated sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *BMC Research Notes*, 13:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05257-1>
- Roca, A.; Guerrero, A. 2021. Cytotoxic effect of copper on Allium cepa (Amaryllidaceae). *Arnaldoa Journal*, 28(3):727-746. DOI: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28315>
- Rodriguez, A.P.; Vicente, J.J. 2021. *Evaluación del efecto de sodio en la producción de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo*

- sistema hidropónico (NFT) en la ciudad de el Alto. Tesis de pregrado. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
- Rodríguez-Rodríguez, D.M.; Checa-Coral, Ó.E.; Ruiz-Eraso, H.; Muriel, J.; Yepes-Chamorro, B. 2022. Niveles de fertilización con calcio, magnesio y azufre en genotipos de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en Nariño. Revista Universidad De Ciencias Aplicadas: Actualidad & Divulgación Científica, 25(2): e1847. DOI: <http://doi.org/10.31910/rudcav25.n2.2022.1847>
- Rodríguez-Yzquierdo, G.A.; Pradenas-Aguila, H.E.; Basso-De-Figuera, C.A.; Barrios-García, M.; León-Pacheco, R. I.; Pérez-Macias, M. 2020. Effect of doses of nitrogen in the agronomy and physiology of yellow passion fruit. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1):117-128. DOI: <https://doi:10.15517/am.v31i1.36815>
- Sancho, E.; Espinoza, D.; Aguirre, D. 2019. The effect of mineral, organic and mineral-organic fertilization on agroproductive characteristics in coffee plants and cup quality. *Revista Universidad en Diálogo Revista de Extensión*, Vol. 9, No. 2:175-185. DOI: <https://doi.org/10.15359/udre.9-2.9>
- Silva, A.; Anderson, F.; Nowaki, R.; Cecílio, A.; Mendoza-Cortez, J. 2017. Symptoms of Macronutrients Deficiency in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 31-43. DOI: <https://doi.org/10.2477/vol21iss2pp31-43>
- Singh, M; Singh, Y.V.; Singh, S.K.; Pradip, D.; Jat, L.K.; Ram, R.L. 2017. Validation of Soil Test and Yield Target based Fertilizer Prescription Model for Rice on Inceptisol of Eastern Zone of Uttar Pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(2): 406-415. DOI: <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.045>
- Supriyanto, S.; Imran, Z.; Ardiansyah, R.; Auliayai, B.; Pratama, A.; Kadha, F. 2022. The Effect of Cultivation Conditions on Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Seed Production and Oil Quality (Omega 3, 6, 9). *Agronomy*, 12(3):1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030636>
- Viera, P.R.; Sanabria, M.F.; Angelo, L.A.; Rodrigues, W.; Pauletti, V.; Macedo, W.R.; Pauletti, V; Diego, C.D. 2022. Influência do vigor de sementes na resposta do feijoeiro à adubação com fósforo. *Research, Society and Development*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25914>

Recibido: 11 de abril de 2024 Aceptado para publicación: 21 de noviembre de 2024