



**Evaluación del crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad
INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn, fase de campo**

Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Dr. Falconí Saá, Cesar Eduardo. PhD

02 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de titulación: **Evaluación del crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn, fase de campo**, fue realizado por la señorita: **Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de agosto del 2023



Firmado digitalmente por:
CESAR EDUARDO
FALCONI SAA

Dr. Falconí Saá, Cesar Eduardo, PhD

C. C.: 0601556459

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



Pamela Simbaña- Plagio.docx

Scan details

Scan time:
August 2th, 2023 at 17:42 UTC

Total Pages:
34

Total Words:
8387

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2%	168
Minor Changes	0.3%	21
Paraphrased	4.1%	341
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
○ Human text

Plagiarism Results: (23)

T-IASA I-005708.pdf 1%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24878/1/t-i-...>

edyson.cusin

1 Respuesta de dos genotipos de chocho (Lupinus mutabilis) a la aplicación de dos alternativas para el control de antracnosis (Colletotr...

iniapscbd333.pdf 1%

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/298/1/iniap...>

Sage Siul

Junio, 2006 Quito-Ecuador C CH muuttaabbiilliss SSw weeeett) A HO ALLIIM OC CH HO ME O ((LLuuppiinnuuss m EN NT TO OA AN ND DIIN NO O ...

IASA I-TT-0031.pdf 1%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35900/1/ias...>

593992881481

1 Carátula Evaluación de la adición de harina de chocho (Lupinus mutabilis) al suero de leche para obtención de una bebida energética n...



Firmado electrónicamente por:
CESAR EDUARDO
FALCONI SAA

Dr. Falconí Saá, Cesar Eduardo, PhD

C. C.: 0601556459



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin**, con cédula de ciudadanía No. 1724012636, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: **Evaluación del crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn, fase de campo**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 02 de agosto del 2023

Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin

C.C.: 1724012636



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin**, con cédula de ciudadanía No. 1724012636 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación del crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn, fase de campo** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 02 de agosto del 2023

Simbaña Sanguña, Pamela Jazmin

C.C.: 1724012636

Dedicatoria

En mi vida han existido grandes personas que han estado durante todo este trayecto de mi vida universitaria, y es por ello que mi tesis la dedico a ellos.

A mi padre Fernando Simbaña que en paz descanse, por ser mi guía y el pilar fundamental en vida, quien me enseñó el valor del esfuerzo y el sacrificio y por ser mi ejemplo para salir adelante.

A mi madre Sarita Sanguña por ser mi fortaleza y mi apoyo incondicional en toda esta etapa de mi vida, y que con su amor y entrega, me demostró que en esta vida todo se puede.

A mi hija Sarahi Carvajal quien es mi gran inspiración y motivación para seguir adelante y nunca dejarme vencer.

A su padre Dennis Carvajal por todo su apoyo, paciencia y motivación para poder lograr cada objetivo que en la vida me proponga.

A mi hermano Oscar Simbaña por estar siempre a mi lado, ser mi amigo y motivarme para poder realizar cada uno de mis logros.

A mi abuelo Pedro Simbaña que en paz descanse, por ser mi apoyo incondicional en los momentos importantes de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir un sueño más en vida.

A mi tutor de tesis, Dr. César Falconí por darme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, brindándome siempre su apoyo incondicional y conocimiento científico.

Al Ingeniero Claudio Pruna, por su paciencia, confianza y constante ayuda durante todo el proceso de mi elaboración de tesis.

A la Universidad de las fuerzas Armada ESPE, en especial a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, por haberme abierto las puertas y apoyarme en nuestra formación académica.

Finalmente agradezco a mis profesores, amigos y familiares que formaron parte de toda esta trayectoria de mi carrera profesional.

Índice de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de Contenidos	8
Índice de tablas.....	13
Índice de Figuras	15
Resumen	16
Abstract	17
CAPÍTULO I	18
INTRODUCCIÓN	18
Antecedentes	18
Justificación.....	19
Planteamiento del problema	20
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Hipótesis	21
CAPÍTULO II	22
REVISIÓN DE LITERATURA	22
Origen de chocho	22

El cultivo de chocho en Ecuador.....	22
Descripción botánica	22
Clasificación taxonómica	22
Requerimientos del cultivo de chocho	23
Etapas fenológicas del chocho	23
Variedades de chocho en el Ecuador	24
INIAP 450 Andino.....	24
Labores agrícolas del cultivo	24
Semilla.....	24
Preparación del suelo.....	25
Siembra.....	25
Aporque.....	25
Control de malezas.....	25
Fertilización.....	25
Cosecha.....	25
Rendimiento del chocho	25
Valor nutritivo del chocho	25
Microelementos de Hierro (Fe) y Zinc (Zn)	26
Hierro (Fe).....	26
Zinc (Zn).....	26
Quelatos de Hierro (Fe) y de Zinc (Zn)	27
Quelatos de hierro (Fe).....	27
Fe- EDTA.....	27
Fe-DTPA.....	27
Fe-EDDHA.....	27
Quelatos de zinc (Zn).....	27

AIA (Ácido indolacético)	27
Nanopartículas	28
CAPÍTULO III.....	29
MÉTODOS Y MATERIALES	29
Ubicación del área de estudio	29
Ubicación política	29
Ubicación geográfica.....	29
Descripción del terreno	30
Materiales.....	30
Materiales de campo.....	30
Materiales de laboratorio y reactivos.....	30
Equipos.....	30
Métodos	30
Preparación del terreno.....	30
Fase de campo	31
Preparación y aplicación de tratamientos.....	32
Fase de laboratorio	33
Calidad de grano.....	34
Contenido de Fe y Zn en semillas de chocho.....	35
Contenido de proteína en semillas de chocho.....	38
Diseño experimental.....	39
Tipo de diseño experimental	39
Unidad experimental	39
Unidad muestral.....	39
Análisis estadístico.....	39
Factores y tratamientos.....	39

Croquis experimental	40
Análisis funcional.	40
Variables por evaluar en campo.....	40
Altura de la planta	40
Índice de contenido de clorofila	41
Floración.	41
Número de vainas.....	41
Número de semilla por vaina.....	41
Porcentaje de semilla no comercial.....	41
Rendimiento por Kg.ha-1 del grano de chocho.	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
Resultados	42
Variables medidas en campo	42
Altura de la planta (cm)	42
Índice de contenido de clorofila (cci)	42
Contenido de AIA (ácido indolacético) en raíces de plantas de chocho.....	43
Número de flores.....	44
Número de vainas, número de semilla por vaina.....	45
Porcentaje de semilla no comercial.....	45
Rendimiento por Kg.ha ⁻¹ del grano de chocho.....	46
Variables medidas en laboratorio	47
Niveles de Fe y Zn (mg.kg-1) en semillas de chocho	47
Discusión.....	48
CAPÍTULO V	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51

Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	52
Bibliografía	53

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Análisis bromatológico del chocho amargo y desamargo</i>	26
Tabla 2 <i>Identificación por colores de cintas en tratamientos</i>	31
Tabla 3 <i>Aplicación después de la siembra de nanopartículas y quelatos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo</i>	33
Tabla 4 <i>Factores y tratamientos del experimento para campo</i>	40
Tabla 5 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre la altura en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo</i>	42
Tabla 6 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre en el índice de contenido de clorofila en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo</i>	43
Tabla 7 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el contenido de AIA(ácido indolacético) en raíces de plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo</i>	44
Tabla 8 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el número de flores en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo</i>	44
Tabla 9 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el número de vainas y número de semilla por vaina en chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino</i>	45
Tabla 10 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el porcentaje de semilla no comercial de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino</i>	46
Tabla 11 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el rendimiento por Kg.ha⁻¹ de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino</i>	46
Tabla 12 <i>Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre los niveles de Fe y Zn en grano de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino</i>	47

Tabla 13 *Efecto de la fertilización de nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el contenido de proteínas en semillas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino.***48**

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Etapas fenológicas del cultivo de chocho durante su desarrollo</i>	24
Figura 2 <i>Ubicación satelital del sitio de estudio</i>	29
Figura 3 <i>Producto comercial usado como tratamiento quelatado (quelato de hierro)</i>	32
Figura 4 <i>Producto comercial usado como tratamiento quelatado (quelato de zinc)</i>	33
Figura 5 <i>Grano de chocho</i>	34
Figura 6 <i>Lavado y secado del grano de chocho</i>	35
Figura 7 <i>Grano de chocho molido</i>	36
Figura 8 <i>Distribución de los tratamientos y repeticiones en campo</i>	40

Resumen

En la presente investigación se evaluó el efecto de nanopartículas y quelatos de Fe y Zn sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*) en campo. La semilla utilizada en nuestro ensayo fue la variedad INIAP 450-Andino. La dosis de nanopartículas y quelatos de Fe y Zn fue de $64\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, aplicada en diferentes estados fenológicos del cultivo: vegetativa, floración y reproducción. Los quelatos fueron Quelat Premiun Fe y Quelat Premiun Zn, y las nanopartículas fueron elaboradas por el laboratorio del Cencinat. Las variables en estudio fueron altura de la planta, contenido de clorofila y ácido indolacético (AIA), número de vainas, número de semilla por vaina, porcentaje de semilla no comercial, rendimiento de semilla ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), niveles de Fe y Zn ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$) y porcentaje de proteína en semillas. Para el diseño experimental se aplicó un DCA (Diseño Completamente al Azar). Las aplicaciones de nanopartículas de Fe y Zn presentaron mayor crecimiento (altura 156cm) y rendimiento ($1860\text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), en comparación con las plantas testigo y los quelatos. La eficacia de las nanopartículas en cuanto al rendimiento sugiere que se debe que son nanoestructuras que controlan la velocidad de liberación de los nutrientes necesarios para la planta.

Palabras clave: NANOPARTICULAS, QUELATOS, CHOCHO, RENDIMIENTO, CRECIMIENTO.

Abstract

In the present investigation, the effect of nanoparticles and Fe and Zn chelates on the growth and yield of lupine plants (*Lupinus mutabilis* Sweet) in the field was evaluated. The seed used in our trial was the INIAP 450-Andino variety. The dose of nanoparticles and Fe and Zn chelates was $64\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, applied in different phenological stages of the crop: vegetative, flowering and reproduction. The chelates were Quelat Premium Fe and Quelat Premium Zn, and the nanoparticles were made by the Cencinat laboratory. The variables under study were plant height, chlorophyll and indoleacetic acid (IAA) content, number of pods, number of seeds per pod, percentage of non-commercial seed, seed yield ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Fe and Zn levels ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$) and percentage of protein in seeds. For the experimental design, a DCA (Completely Random Design) was applied. The applications of Fe and Zn nanoparticles showed higher growth (height 156cm) and yield ($1860\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), compared to the control plants and the chelates. The effectiveness of nanoparticles in terms of performance suggests that it is because they are nanostructures that control the rate of release of the necessary nutrients for the plant.

Keywords: NANOPARTICLES, CHELATES, CHOCHO, YIELD, GROWTH.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El chocho es considerado una leguminosa rústica, con alto valor nutritivo y agroecológico, capaz de adaptarse a suelos secos y arenosos (Caicedo y Peralta, 2001; Falconí y Yáñez, 2022). Esta leguminosa es capaz de fijar nitrógeno atmosférico gracias a su sistema radicular, por lo que ayuda a la fertilización del suelo, y puede asociarse mediante rotaciones con cultivos principalmente de cereales y tubérculos (Basantes, 2015).

En el Ecuador el cultivo de chocho se encuentra principalmente en provincias ubicadas en la sierra como Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha, Bolívar, Tungurahua, Carchi e Imbabura en alturas entre 2600 y 3200 msnm (Basantes, 2015). Siendo la provincia de Cotopaxi la que presenta mayor superficie cosechada en el país, con un total de 2121 ha, seguido de Chimborazo con 1013 ha y Tungurahua con un total de 350 ha (Villacrés *et al.*, 2006).

La fertilización del chocho se recomienda realizar a la siembra en suelos arenosos con 30 a 60 kg/ha de P_2O_5 , y cubrir usando 65 a 130 kg por hectárea de 18-46-0 en el caso de existir deficiencias de micronutrientes se debe realizar aplicaciones foliares (Villacrés *et al.*, 2006).

En estudios anteriores se ha logrado observar que al aplicar nanopartículas de Zn en chocho a concentraciones de $80 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, se obtuvo un 85% de germinación de semillas en un periodo de 5 días, además que la misma concentración ha favorecido a la longitud media de sus grupos radiculares y vástagos de 4.5 a 4.8 cm, respectivamente (Rana *et al.*, 2020). Así como también se ha observado que el uso de nanopartículas de Fe han ayudado al aumento en el tamaño de la raíz, el área foliar y la biomasa, siendo un estimulante significativo en el índice de contenido de clorofila (Murgueitio *et al.*, 2022). El Fe y Zn son elementos de gran importancia para el desarrollo en las plantas de chocho, ya que interviene en la actividad enzimática, la formación y síntesis de la clorofila, por lo que sus deficiencias provocan clorosis a los 40 días

por falta de zinc y a los 30 días por falta de hierro, principalmente en hojas jóvenes (Caicedo y Peralta, 2001).

En la actualidad una de las alternativas para mejorar el aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas es mediante el uso de la nanotecnología, siendo una de las aplicaciones con más potencial en la agricultura, ya que a partir de la escala nanométrica, podremos obtener mayor eficiencia en el uso de plaguicidas, mediante la reducción de la dosis requerida y ayudando significativamente a la mejora del medio ambiente (Intagri, 2019).

Justificación

El cultivo de chocho (*L. mutabilis*) es muy importante en la dieta de sus habitantes, debido a su alto valor nutricional que se caracteriza por contener proteínas, grasas, carbohidratos, minerales y fibra, siendo considerado como un producto estratégico para las comunidades ecuatorianas (Falconí y Yáñez, 2022; Peralta *et al.*, 2013).

El chocho Andino tiene un rendimiento de aproximadamente 200 a 300 kg / ha, siendo un rendimiento muy bajo para el mercado local, esto debido a que los productores no poseen acceso al desarrollo científico, capacitación y seguimiento técnico que ayude a la mejora de su productividad y su calidad (Falconí, 2012).

Por lo que el objetivo de la fertilización con micronutrientes aplicado de manera clásica y usando quelatos de Fe y Zn, nos ayudará a la obtención de semillas de mejor calidad, contribuyendo a que el productor se beneficie económicamente (Rana *et al.*, 2020), y además que sirva de ayuda para solventar problemas que la planta de chocho presenta, debido a que no posee los niveles suficientes de estos micronutrientes (Forero, 2022). Por otro lado, la utilización de fertilizantes de hierro y de zinc dopados en nanopartículas, ayudarán a la planta a obtener mayor producción, ya que su liberación en toda la planta es de forma lenta y controlada (Murgueitio *et al.*, 2022).

En estudios anteriores el uso de nanopartículas de Fe y Zn en dosis de 270 ppm promovieron el crecimiento de plantas de chocho a nivel de invernadero (Murgueitio *et al.*, 2022).

Por lo que en este estudio se evaluará el efecto de quelatos y nanopartículas en dosis de 64 mg.L⁻¹ de hierro y zinc en el crecimiento y rendimiento del chocho a nivel de campo.

Los resultados obtenidos de este estudio permitirán a los agricultores conocer sobre la aplicación de nanopartículas y quelatos en el cultivo de chocho. Y si logramos obtener grandes rendimientos, se logrará contribuir a que el cultivo sea rentable y sustentable para los agricultores del Ecuador.

Planteamiento del problema

Los rendimientos promedios del cultivo de chocho, principalmente de su grano, son obtenidos por los cultivos comerciales desarrollados en el país, en donde se observa que en relación a otros países, son relativamente bajos, obteniéndose de 1,5 a 2,2 t.ha⁻¹, por lo que se es necesario aplicar nuevas tecnologías de la agricultura que aseguren su buen manejo y que se aplique la cantidad adecuada de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, que nos permitan obtener mayor rendimiento y mejor calidad de grano durante las cosechas (Falconí, 2012).

El mayor problema que se obtiene durante la producción en el cultivo de chocho se debe al poco conocimiento de los agricultores sobre las nuevas alternativas para poder combatir enfermedad y la deficiencia del uso de nutrientes (Fe y Zn) en el cultivo de chocho, para que de una u otra forma se pueda mejorar el desarrollo de este cultivo. Por lo que una de las mejores alternativas es el uso de nanopartículas, siendo productos no tóxicos, de bajo costo y que aumentan la eficiencia del uso de nutrientes, mejorando el contenido nutricional, el crecimiento de la planta, su resistencia a enfermedades y sobre todo mejorando la calidad de su grano (Murgueitio *et al.*, 2022).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el crecimiento y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP-450 Andino, utilizando quelatos y nanopartículas de Fe y Zn.

Objetivos Específicos

Determinar el efecto de quelatos y nanopartículas de Fe y Zn en parámetros fisiológicos del chocho.

Cuantificar el efecto de quelatos y nanopartículas de Fe y Zn en parámetros agronómicos y producción de chocho.

Hipótesis

Hipótesis nula

El rendimiento y la fisiología del chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP 450-Andino, no presenta mejoras al aplicar quelatos y nanopartículas de Fe y Zn.

Hipótesis alterna

El rendimiento y la fisiología del chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*), variedad INIAP 450-Andino, presenta mejoras al aplicar quelatos y nanopartículas de Fe y Zn.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen de chocho

El chocho o también conocido como tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) es originario de la zona andina de Sudamérica, siendo la única especie del género *Lupinus* que ha sido domesticada y cultivada como una leguminosa. Se encuentra distribuida desde el sur de Colombia hasta el norte de Argentina, teniendo una mayor importancia en Ecuador, Perú y Bolivia (Tapia, 2015).

El cultivo de chocho en Ecuador

En el Ecuador el cultivo de chocho presenta su mayor producción en las provincias de Cotopaxi y Chimborazo (Basantes, 2015), seguidos de las provincias como Pichincha, Bolívar, Tungurahua, Carchi e Imbabura, en alturas entre 2600 y 3200 m.

Descripción botánica

El chocho es una planta herbácea anual, presenta nudos nitrificantes en su raíz principal que pueden alcanzar hasta los 2m de profundidad, posee tallos vigorosos, cilíndricos semileñosos, de abundantes ramificaciones, y su altura varía entre los 50 a 150 cm, según su genética, sus hojas son digitadas y constan de 5 o más folíolos, sus flores son papilionáceas de color blancas o moradas, con 5 pétalos en la corola, y el pistilo y sus diez estambres se encuentra rodeados por la quilla. Presenta polinización cruzada siendo así una especie autógena y su fruto es una vaina pubescente de 5 a 12 cm de largo, y que en su interior contiene de 3 a 8 granos ovalados, y sus semillas son de varios colores que varían desde el blanco, crema, azul, hasta el púrpura (Caicedo y Peralta, 2001).

Clasificación taxonómica

El chocho o también llamado tarwi o tahuri, de nombre científico *Lupinus mutabilis Sweet*, pertenece a la familia de las leguminosas, de la subfamilia Papilionoideas, del género *Lupinus* y especie *mutabilis* (Santillán, 2021).

Requerimientos del cultivo de chocho

El cultivo de chocho se adapta a diferentes tipos de suelo a una altitud de 2600 a 3200 msnm, requiere de una temperatura promedio anual de 7°C – 14°C, con una precipitación de 300 - 600 mm durante todo el ciclo del cultivo, siendo susceptible al exceso de humedad (> 1000 mm) y moderadamente susceptible a la sequía durante la floración y el envainado, es tolerante a heladas y requiere de un pH entre los 6 – 7.5 (Basantes, 2015; Falconí, 2012).

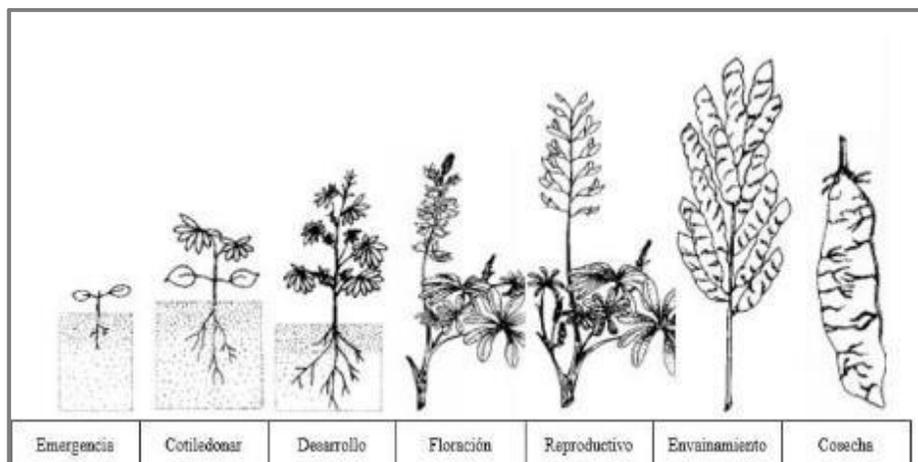
Etapas fenológicas del chocho

El chocho posee etapas fenológicas, como la emergencia, en donde la semilla (cotiledón) emerge del suelo a los 4 a 10 días después de su siembra, manteniéndose sobre el suelo, después de esto a los 10 a 15 días los cotiledones comienzan a abrirse horizontalmente a ambos lados, y brotan los primeros folíolos envueltos en el eje central, luego la planta comienza a desarrollarse, evidenciando la presencia de hojas verdaderas hasta la inflorescencia (30 días), presentando un tallo que se caracteriza por su tamaño (0,50cm-2,5m) y vigor (Caicedo y Peralta, 2001).

A partir de los 61 a 180 días inicia la etapa de floración con la apertura de flores, dispuestas en los verticilos, con una mayor longitud en el eje principal y disminuye progresivamente en los ejes laterales, se puede encontrar más de 60 flores, sin embargo no todas llegan a formar fruto, es decir no completan la etapa de maduración de la vaina (120-210 días), la vaina puede tener una longitud entre 5 a 12cm, y en su interior poseer de 3-9 semillas, finalmente se obtiene el grano seco y la planta alcanza su madurez total (Caicedo y Peralta, 2001).

Figura 1

Etapas fenológicas del cultivo de chocho durante su desarrollo



Nota. Etapas fenológicas del chocho. Recuperado de Santillán (2021).

Variedades de chocho en el Ecuador

Hace 20 años existía en el Ecuador dos variedades de chocho como la INIAP 450 Andino y la INIAP 451 Guaranguito (Caicedo *et al.*, 2000). Sin embargo, su número se ha triplicado (Falconí, 2012).

INIAP 450 Andino. Se caracteriza por su adaptabilidad a suelos secos y menos lluviosos, de crecimiento herbáceo y se puede cosechar entre los 6 hasta los 8 meses, obteniendo un grano grande de color blanco – crema y produciendo hasta 3 t.ha⁻¹. Sin embargo, no presenta resistencia a enfermedades que afectan al cultivo como la antracnosis (Peralta *et al.*, 2013).

Labores agrícolas del cultivo

Semilla. La semilla debe ser desinfectada con Vitavax 300 antes de sembrar (1 a 2 gramos por kilogramo de semilla) (Caicedo y Peralta, 2001) o mejor utilizando tecnología alternativa como radiación UV-B (Falconí y Yáñez, 2019), radiación UV-C (Falconí y Yáñez, 2018), calor seco (Falconí y Yáñez, 2016) o control biológico (Yáñez y Falconí, 2018, 2021).

Preparación del suelo. Para preparar el suelo se debe realizar una arada y pasar la rastra, para luego realizar el surcado, los surcos deben tener una distancia de 10 a 90 cm (Caicedo y Peralta, 2001).

Siembra. Una vez desinfectada la semilla se debe sembrar de 3 a 4 semillas por golpe a una distancia entre sitios de 50cm, de forma manual (Basantes, 2015).

Aporque. Se debe realizar uno al inicio de la floración (40-60 cm de altura).

Control de malezas. Debe realizarse un control de malezas en los 30 y 45 días después de la siembra, con un aporque a los 60 días, siendo este la segunda deshierba, ya que estas actividades ayudan a la aireación de las rices y favorecen al crecimiento de la planta (Caicedo y Peralta, 2001).

Fertilización. Se debe realizar una fertilización con 40-80-60 con 60 Kg de calcio, además que se debe aplicar fertilizante foliar (3 Kg) hasta la floración.

Cosecha. La cosecha debe ser manual o cortadas, una vez que los racimos de vainas se encuentren de color amarillento (Basantes, 2015).

Rendimiento del chocho

El chocho andino posee un rendimiento que puede alcanzar desde los 1300 a 1500 kg/ha, todo esto dependerá si el cultivo es trabajado de forma adecuada y si se le suministra todos sus requerimientos (Proaño, 2011).

Valor nutritivo del chocho

El chocho presenta un importante valor nutritivo, ya que su contenido de proteína sobrepasa el 50%, y además presenta elementos como P, grasa y carbohidrato (Basantes, 2015), por lo que es considerado un alimento primordial principalmente para la población urbana ecuatoriana de la Costa, Sierra y Oriente (Allauca, 2005; Falconí y Yáñez, 2022).

Tabla 1*Análisis bromatológico del chocho amargo y desamargo*

Componentes	Chocho amargo	Chocho desamargo
Proteína (%)	47.80	54.05
K (%)	1.22	0.02
Mg (%)	0.24	0.07
Ca (%)	0.12	0.48
P (%)	0.60	0.43
Fe (mg/kg)	78.45	74.25
Zn (mg/kg)	42.84	63.21
Mn (ppm)	36.72	18.47
Cu (ppm)	12.65	7.99

Nota. Análisis bromatológico de chocho. Recuperado de Villacrés *et al.* (2006).

Microelementos de Hierro (Fe) y Zinc (Zn)

Hierro (Fe). El hierro es un micronutriente fundamental en el desarrollo de las plantas, debido a que interviene en la síntesis de la clorofila y en algunos procesos enzimáticos y metabólicos esenciales para que la planta pueda llevar a cabo su ciclo vital (Intagri, 2019). Sin embargo, cuando la planta presenta una deficiencia de este elemento, provoca clorosis en las hojas más jóvenes y adultas, que con el tiempo puede producir necrosis, desecación y posteriormente la caída de estas, afectando a la producción (Herrero, 2015).

Zinc (Zn). Es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que interviene en la activación de enzimas encargadas de la síntesis de algunas proteínas, en la formación de clorofila, varios carbohidratos, y en la conversión de almidones en azúcares (Amezcuca y Lara, 2019). La presencia del zinc en el tejido foliar ayuda a las plantas a resistir

bajas temperaturas, participa en la formación de auxinas, mismas que ayudan a regular el desarrollo y la elongación del tallo (Intagri, 2017).

Su deficiencia afecta a las hojas nuevas, debido a que este elemento es inmóvil dentro de la planta, provocando clorosis en hojas nuevas y la presencia de manchas necróticas en las orillas o en las puntas de las hojas, generando hojas pequeñas y torcidas hacia arriba o deformes; los entrenudos se acortan, dándole a la planta un aspecto de escarapela; se presenta un desarrollo pobre de los botones, haciendo que se reduzcan las ramificaciones (Intagri, 2019).

Quelatos de Hierro (Fe) y de Zinc (Zn)

Quelatos de hierro (Fe). Es un microgranulado soluble, utilizado para la corrección de la clorosis férrica (Forero, 2022). Existen tres tipos de quelatos de hierro usados en la fertilización de plantas, entre los cuales son:

Fe- EDTA. Es estable en un pH inferior a 6.0, es decir su eficiencia es limitada en suelos alcalinos.

Fe-DTPA. Es estable en niveles de pH de hasta 7.0, y no es susceptible al desplazamiento de Fe por Ca.

Fe-EDDHA. Es estable en niveles de pH altos como 11.0, siendo el quelato más caro en el mercado (Forero, 2022).

Quelatos de zinc (Zn). Su efectividad depende del manejo del pH en la solución a aplicar, debido a que esto garantiza la estabilidad del quelato, por lo que las dosis recomendadas de Zn-EDTA varían entre 1 a 1,5 kg/ha del producto, es decir a una concentración menor del 1% (1g/l), dependiendo del tipo de cultivo (Lucena, 2004).

AIA (Ácido indolacético)

El AIA es una auxina u hormona natural que se encuentra presente en la mayoría de las plantas, estas hormonas vegetales ayudan a regular diversos procesos del desarrollo vegetal, siendo muy frecuente su aplicación en la agricultura (Castillo *et al.*, 2005)

Nanopartículas

En la actualidad el uso de la nanotecnología ha sido de mucha ayuda en el área de la nutrición vegetal, debido a la seguridad de su aplicación a la escala (fertilización localizada), ya que estas nanoestructuras permiten controlar la velocidad de liberación de los nutrientes, liberando sólo lo que la planta requiera y brindando una buena nutrición en los cultivos, reduciendo las lixiviaciones y otras formas de pérdida de fertilizantes, minorando los costos de producción (Intagri, 2019). Según Intagri (2019), menciona que en algunos reportes de nanopartículas de óxido de zinc (menores a 100 nm) usadas en cultivos de pepino, maní, coliflor, tomate y chícharo ayudaron a incrementar la eficiencia del micronutriente de zinc.

Las nanopartículas son aquellas partículas pequeñas promotoras de crecimiento, que pueden ayudar a proteger a las plantas de ciertos hongos y bacterias, reduciendo a aplicación de fertilizantes químicos, ayudando al cultivo y no afectando a la planta (Sánchez, 2016), por lo que en nuestro estudio se utilizará nanopartículas del tamaño máximo de 20nm (Rivera *et al.*, 2021).

En investigaciones anteriores se observó que al utilizar nanopartículas de Fe y Zn de 270 pm, se logra obtener mejoras importantes en el crecimiento de las plantas de chocho como en el aumento del 6% en altura de la planta, 19% en tamaño de raíz, 3,5% en índice de contenido de clorofila y 300% en área foliar (Murgueitio *et al.*, 2022), sin embargo en otra investigación realizadas con nanopartículas en dosis menores se logró observar que las plantas presentan efectos fitotóxico y significativamente un mayor rendimiento en el chocho (Erazo, 2021). Razón por la que en esta investigación utilizaremos nanopartículas de Fe y Zn de 64 mg. L⁻¹ y quelatos de 64 mg. L⁻¹, esperando obtener plantas sanas, de buen crecimiento y que tengan un buen rendimiento.

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

Ubicación del área de estudio

Ubicación política

El presente trabajo fue realizado en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Fernando, en las parcelas experimentales de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en la Hacienda “El Prado”.

Ubicación geográfica

El laboratorio de Fitopatología y Control Biológico y el lugar de investigación en campo se encuentran ubicados a una latitud de $0^{\circ}23'20''\text{O}$, longitud de $78^{\circ}24'48''\text{O}$ y altitud de 2750 m.s.n.m.

Figura 2

Ubicación satelital del sitio de estudio



Nota. Ubicación del sitio de estudio. Recuperado de Google maps (2023).

La Hacienda el Prado se encuentra ubicada en el Bosque húmedo Montano con una altitud de 2748 msnm, a una temperatura promedio anual de 13.88°C , precipitación de 1286 mm/año y humedad relativa promedio de 70,01%.

Descripción del terreno

El terreno donde se ejecutó la investigación presenta un suelo con perfil edáfico del tipo Ap/Bt, de contenido medio en materia orgánica, de textura franco arenoso ligeramente ácida y con densidad aparente menor a 1g.cm³.

Materiales

Materiales de campo

Azadones, azadillas, rastrillo, mochilas de aspersión, sacos, tijeras de podar, sacos, piolas, estacas y libreta de campo. Agroquímicos: insecticidas como Profenofos (Curacrom) y el fungicida biológico *Bacillus subtilis*. Fertilizante: 10-30-10; nanopartículas y quelatos de Fe y Zn y semillas de chocho (*L. mutabilis*) variedad I.450 Andino.

Materiales de laboratorio y reactivos

Vasos de precipitación de 100, 250 y 1000 ml, tubos eppendorf, pinzas, agitador, tubos de ensayo, gradillas, probetas de 1000 ml, papel filtro, papel aluminio, papel kraf, jabón neutro, toallas absorbentes, tinas plásticas, morteros con pistilo, balón aforado de 50 ml, embudo de vidrio, crisoles, utensilios de limpieza, mechero de alcohol, . Reactivos: ácido clorhídrico, PBS, acetona, salkowsky.

Equipos

Balanza analítica, cámara, computadora, mufla, estufa, espectrofotómetro, medidor de clorofila, micro centrifugadora, crio congelador.

Métodos

Preparación del terreno

En el terreno con la ayuda del tractor se realizó un arado, luego se pasó la rastra y se realizó un surcado y dividido en parcelas de 20 m² (4 m de ancho por 5 m de largo), distribuidos en tratamientos de 4 fertilizaciones más un testigo, con tres repeticiones, obteniéndose un total de 15 parcelas en campo.

Fase de campo

El suelo de cada parcela fue removido mediante el uso de un azadón, formando cinco surcos con una separación de 0.8 m. Se sembraron 3 semillas por golpe a 0.35 m de distancia y a una profundidad de 0.1 m, en cada surco, de todas las parcelas (Falconí, 2012).

Se realizó un riego por gravedad por 2 h cada 8 días, durante todo el periodo de desarrollo del cultivo, mientras que el deshierbe se lo realizó cada 35 días con dos aporques a los 40 y 90 días (Falconí, 2012).

El monitoreo fue realizado en 10 plantas por unidad experimental, seleccionadas al azar y marcadas con cintas plásticas de colores según el tratamiento (Tabla 2).

Tabla 2

Identificación por colores de cintas en tratamientos

Tratamiento	Color cinta
T0	
T1	
T2	
T3	
T4	

Nota. Cintas identificadoras de tratamientos. Autoría propia.

A los 31 días se aplicó el insecticida Curacrom (Profenofos 500g.L⁻¹) a una dosis de 1ml.L⁻¹, para el control de gusano alambre (*Agriotes sp.*).

A los 40 días se aplica una fertilización básica directo al surco cubierto por 10-30-10 y luego se incorporó con la remoción de la tierra del primer aporque.

A los 85 días se aplicó *Bacillus subtilis*, para poder controlar la presencia de fusarium en el cultivo.

Preparación y aplicación de tratamientos

Para la preparación de nanopartículas de Fe y Zn nos basaremos en el protocolo establecido por Murgueitio *et al.*, (2022).

Posteriormente las nanopartículas EDDHA de Fe y Zn serán aplicadas a una concentración de 64 mg.L^{-1} , mediante la utilización de un atomizador al follaje hasta llegar al punto de escorrentía, durante la etapa vegetativa (70 días), floración (91 días) y reproductivo (112 días), en 10 plantas tomadas al azar por unidad experimental.

La aplicación del quelato EDTA 15% p/p de Fe y quelato DTPA 11% p/p de Zn se realizará mediante las recomendaciones del producto comercial Quelat Premiun, a una dosis de 64 mg/L de Zn y Fe, mediante la utilización de un atomizador al follaje hasta llegar al punto de escorrentía, durante la etapa vegetativa (70 días), floración (91 días) y envainamiento (112 días).

Figura 3

Producto comercial usado como tratamiento quelatado (quelato de hierro)



Nota. Quelato de Fe.
Autoría propia.

Figura 4

Producto comercial usado como tratamiento quelatado (quelato de zinc)



Nota. Quelato de Zn.

Autoría propia.

Tabla 3

Aplicación después de la siembra de nanopartículas y quelatos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo

Etapas fenológicas	Aplicación
Vegetativa	70 días
Floración	91 días
Reproductivo	112 días

Nota. Etapas fenológicas del cultivo. Autoría propia.

Fase de laboratorio

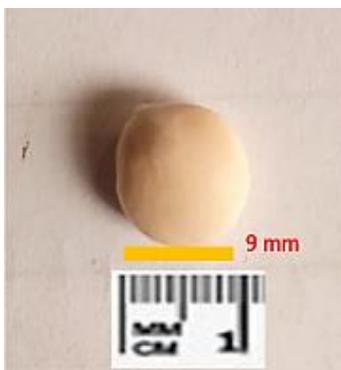
Los análisis para determinar la calidad del grano fueron realizados basándose en los parámetros establecidos por el INIAP (2001), en los laboratorios de la Carrera Agropecuaria IASA I.

Calidad de grano

Color, diámetro, forma. Se realizó mediante un análisis visual de la muestra, la cual tuvo un color blanco cremoso, de forma redondeada, con un diámetro de 8-9 mm.

Figura 5

Grano de chocho



Nota. Grano de chocho.

Autoría propia.

Rendimiento. Se pesó todos los granos obtenidos de 10 plantas por cada tratamiento y posteriormente se extrapolo a el rendimiento por ha.

Contenido de AIA (ácido indolacético) en raíces. Para la medición del contenido de AIA, se tomó las raíces de 10 plantas al azar por cada tratamiento, para luego seguir el siguiente protocolo:

- Se colectaron muestras de las raíces de chocho en bolsas negras, para evitar el contacto de la luz, realizando un lavado previo de raíces con agua esterilizada en un ambiente oscuro (López y Díaz, 2018).
- Luego en tubos Falcon de 50ml, se colocaron las muestras de raíz con acetona (estos tubos deberán estar cubiertos previamente con papel aluminio, evitando el ingreso de la luz) hasta cubrirlas (López y Díaz, 2018).

- Llevamos al congelador a -4°C , por 3 días, y luego tomamos 1g de la muestra de raíz para luego ser colocados en morteros, para macerar finamente. El extracto obtenido de la muestra lo filtramos con ayuda de papel filtro y dependiendo de la cantidad obtenida colocaremos uniformemente (500 dl a 1 ml) en tubos de ensayo (previamente cubiertos con papel aluminio) y adicionaremos 2,5 ml de reactivo de Salkowski, y dejamos reposar por 25 min, y luego colocamos en tubos eppendorf de 2 ml.
- Finalmente, llevamos los tubos eppendorf con las muestras a centrifugar a 500 revoluciones por minuto, durante un periodo de 5 min, para luego llevarlos al espectrofotómetro y obtener datos (López y Díaz, 2018).

Contenido de Fe y Zn en semillas de chocho

Preparación de las muestras en fase sólida. Para poder determinar el porcentaje de proteína y los niveles de Fe y Zn, se lavaron 15 g de grano de chocho de cada tratamiento con jabón neutro y luego lo pasamos por una coladera para retirar todo el excedente de agua y meter en fundas de papel. Lo llevamos a secar en una mufla a 80°C durante 24h, para posteriormente proceder a moler los granos en un molino y el resultado ser colocados en frascos estériles.

Figura 6

Lavado y secado del grano de chocho



Nota. Proceso de lavado y secado del chocho. Autoría propia.

Figura 7

Grano de chocho molido



Nota. Chocho molido. Autoría propia.

De las muestras molidas colocadas en frascos estériles se tomaron y pesaron 3 g de muestra de chocho y lo colocamos en crisoles.

Preparación de las muestras en fase líquida. Llevaremos los crisoles con la muestra de chocho molido y colocaremos en ellos 2 ml de agua destilada más 10 ml de ácido clorhídrico, para luego ser llevados a una plancha de calentamiento por 1h y esperamos a que las muestras lleguen a punto de ebullición, evitando que se evapore (esto se lo realizó dentro de una campana extractora de gases). Posteriormente las muestras fueron llevadas nuevamente a una mufla por 4h.

Las muestras fueron sacadas de la mufla, para posteriormente ser filtrados con agua destilada por un embudo de cristal con papel filtro de 125mm y una vez terminado el filtrado, su resultado será aforado a 50ml con agua destilada en un balón volumétrico de vidrio. El resultado fue colocado en frascos estériles para luego ser analizados.

Análisis de las muestras. Para el análisis de las muestras la solución madre de 50ml, fueron diluidas a concentraciones de 1:10 y 1:100, utilizando micropipetas y agua destilada. Estas muestras fueron envasadas en frascos estériles e identificados, para luego ser enviadas al Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) que pertenece a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", y analizadas por espectrometría de absorción atómica, siguiendo protocolos de CENCINAT.

Cálculo de Fe y Zn en semillas de chocho. Las concentraciones de Fe y Zn se calcularon medita las siguientes ecuaciones:

Hierro

$$Fe \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(a - b)v}{m}$$

Donde:

a= mg/l de Fe en el filtrado de la muestra (dato dado por espectrometría de absorción atómica).

b= mg/l promedio de k en el filtrado de los blancos

v= volumen final en ml de filtrado

m= masa en gramos de muestra

Zinc

$$Zn \left(\frac{mg}{Kg} \right) = \frac{(a - b)v}{m}$$

Donde:

a= mg/l de Zn en el filtrado de la muestra (dato dado por espectrometría de absorción atómica).

b= mg/l promedio de Na en los filtrados de los blancos

v= volumen final en ml de filtrado

m= masa en gramos de muestra

Contenido de proteína en semillas de chocho

Preparación de las muestras

Se pesaron muestras de granos de chocho tomadas aleatoriamente, lavados con jabones neutros y colocados en fundas de papel kraf y llevadas una estufa durante 24h, una vez las muestras secas, trituramos los granos y lo tamizamos hasta obtener un polvo fino: de este se tomó 1g y agregó 2ml de PBS. Luego se extrajo 2 ml de la mezcla y se colocó en tubos eppendorf de 2 ml con su respectiva identificación. Luego se centrifugó a 14000 RPM por 20 min hasta obtener un sobrenadante del cual se extrajeron 0,5 ml, para luego aforar con 1,5 ml de PBS. Finalmente, se aplicó el protocolo descrito por Thermo Fisher Scientific (2020) para la detección de proteínas (Pierce Protein Assay Kit-Thermo Fisher Scientific).

Las muestras fueron colocadas en micro celdas para su lectura en un espectrofotómetro UV-Vis para ELISA, por lo que se trabajó una curva estándar de coeficiente de correlación $R^2 = 0,9947$; con la ecuación:

$$y = 0,0003x + 0,0130$$

Por lo tanto, para calcular el contenido de proteína $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}}\right)$ tenemos:

$$x \left(\frac{\mu\text{g de proteína extraída}}{\text{ml de extracto puro}} \right) = \frac{y - 0,0130}{0,0003}$$

Donde:

$$X = \text{Contenido de proteína} \frac{\mu\text{g de proteína extraída}}{\text{ml de extracto puro}}$$

$$y = \text{Absorbancia medida}$$

Este resultado se lo convierte a $\frac{\mu\text{g de proteína extraída}}{\text{ml de extracto puro}}$ mediante la siguiente relación:

$$\text{Proteína} \left(\frac{\mu\text{g de proteína extraída}}{\text{mg de extracto puro}} \right) = \left(\frac{\mu\text{g de proteína extraída}}{\text{ml de extracto puro}} \right) * \left(\frac{2 \text{ ml de PBS}}{1\text{g de material seco}} \right) * \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}}$$

Diseño experimental

Tipo de diseño experimental

El experimento estuvo dispuesto en un diseño completamente al azar (DCA), con 5 tratamientos y 3 repeticiones.

Unidad experimental

Se contó con quince unidades experimentales, las cuales fueron a manera de parcela rectangular, de dimensiones: 5m de largo por 4m de ancho, dentro de las cuales se elaboraron 5 surcos con un total de 50 plantas por parcela.

Unidad muestral

Fueron formadas por 10 plantas tomadas al azar por cada uno de los 5 tratamientos.

Análisis estadístico

Las variables para analizar en campo serán mediante el siguiente modelo matemático

$$Y_{ijk} = u + F_i + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable a medir

u = Media general

F_i = Efecto de la i -ésima fertilización

e_{ijk} = Error experimental

Factores y tratamientos

Se muestran en la tabla 4.

Tabla 4*Factores y tratamientos del experimento para campo*

Tratamiento	Fertilizante	Dosis
T0	Testigo	0
T1	Nanopartículas Fe	64 mg. L ⁻¹
T2	Nanopartículas Zn	64 mg. L ⁻¹
T3	Nanopartículas de Fe + Nanopartículas de Zn	64mg. L-1
T4	Quelato Fe + Quelato Zn	64mg. L-1

Nota. Factores y tratamientos del experimento. Cada tratamiento tendrá 3 repeticiones. Autoría propia.

Croquis experimental**Figura 8***Distribución de los tratamientos y repeticiones en campo*

T1R2	T2R3	T0R1	T3R3	T4R3
T3R1	T4R2	T1R1	T2R2	T0R3
T2R1	T0R2	T3R2	T4R1	T1R3

Nota. Distribuciones de tratamientos. R: repetición, T: tratamiento. Autoría propia.

Análisis funcional.

Las variables de estudio fueron caracterizadas con estadística descriptiva (media y desviación estándar). Para comparar el crecimiento y rendimiento de chocho entre tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y posteriormente se evaluó mediante prueba de comparación de medias, usando la prueba de Tukey a un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

Variables por evaluar en campo

Altura de la planta. La altura de la planta fue medida mediante un flexómetro regulado en centímetros y milímetros, tomando en cuenta desde la base del cuello de la raíz hasta el ápice del tallo principal de la planta, en 10 plantas tomadas al azar, durante las etapas vegetativa (70 días), floración (91 días) y reproductivo (112 días) (Falconí, 2012).

Índice de contenido de clorofila. El contenido de clorofila fue medido en las 10 plantas de chocho tomadas al azar de cada tratamiento, mediante el índice de contenido de clorofila con lecturas a 6 folíolos de las hojas en las etapas vegetativa (70 días), floración (91 días) y reproductivo (112 días), con la ayuda del medidor de clorofila CCM-200 Chlorophyll Content Meter (opti-Sciences) (Falconí, 2012).

Floración. Esta variable se midió en 10 plantas tomadas al azar de cada tratamiento, donde se registró el número de plantas en floración temprana, el día en que se produce la primera flor en el tallo principal 20% y cuando el 50% de las plantas se encuentre en florecimiento (Falconí, 2012).

Número de vainas. Se cosecharon las vainas del tallo principal y ramas laterales (Falconí 2012) de las 10 plantas tomadas al azar por cada tratamiento en etapa final, para luego ser contabilizadas y anotadas en un libro de campo (Falconí, 2012).

Número de semilla por vaina. Luego de ser cosechadas las vainas se procedió a realizar el trillado manual, cuya variable a medir se obtendrá mediante la división del número de semillas para el número de vainas cosechadas de cada tratamiento (Falconí, 2012).

Porcentaje de semilla no comercial. Este porcentaje se calculó mediante la división del peso de las semillas con presencia de manchas, lesiones de insectos o rotas (semillas dañadas) respecto al total de semillas y multiplicado por 100% (Falconí y Yáñez, 2022).

$$\% \text{ semillas no comercial} = \frac{\text{peso semilla no comercial}}{\text{peso total de semillas}} \times 100$$

Rendimiento por Kg.ha-1 del grano de chocho. Se determinó el peso de los granos obtenidos de 10 plantas al azar de cada parcela en etapa final y posteriormente se extrapola el rendimiento por ha (Falconí, 2012).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

VARIABLES MEDIDAS EN CAMPO

Altura de la planta (cm)

La altura de las plantas de chocho presentaron diferencias significativas en la etapa vegetativa ($F=3,60$, $p=0.0456$), floración ($F= 7,84$; $p=0.0040$) y reproductiva ($F= 13,58$; $p=0.0005$) entre fertilizaciones, siendo el tratamiento T2 (Zn-NP) el que mayor altura presentó en las etapas de floración y reproductiva, sin embargo, en la etapa vegetativa se pudo visualizar que el tratamiento T4 (Fe-Q + Zn Q) presentó mayor altura (Tabla 5).

Tabla 5

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre la altura en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo

Tratamientos	Etapa fenológica		
	Vegetativa	Floración	Reproductiva
Testigo	73,23 ± 3,45 ab	114,20 ± 0,30 bc	148,50 ± 0,30 b
Fe-Np (T1)	77,83 ± 3,16 ab	123 ± 7,09 abc	149,40 ± 1,50 b
Zn-Np (T2)	77,43 ± 1,69 ab	127,10 ± 2,90 a	156 ± 2,90 a
Fe-Np + Zn-Np (T3)	70,63 ± 5,69 b	112,55 ± 2,35 c	142,35 ± 2,35 c
Fe-Q + Zn Q (T4)	82,56 ± 5,53 a	125,16 ± 4,38 ab	150,12 ± 3,14 ab

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p<0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Índice de contenido de clorofila (cci)

El índice de contenido de clorofila en plantas de chocho presentó diferencias significativas en la etapa vegetativa ($F=14,55$; $p=0.0004$), floración ($F=6,95$; $p=0.0061$) y

reproductiva ($F=9,27$; $p=0.0021$), siendo el tratamiento T1 (Fe-Np) el que mayor índice de clorofila presento en las dos etapas (vegetativa y floración), sin embargo, en la etapa reproductiva se pudo visualizar que el tratamiento T3 (Fe-Np + Zn-Np) mostró el mayor índice de clorofila (Tabla 6).

Tabla 6

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre en el índice de contenido de clorofila en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo

Tratamientos	Etapa fenológica		
	Vegetativo	Floración	Reproducción
Testigo	48,23 ± 0,25 bc	58,27 ± 6.27 b	57,83 ± 6.23 b
Fe-Np (T1)	54,07 ± 2,35 a	72,20 ± 11.04 a	62,90 ± 5.48 b
Zn-Np (T2)	46,30 ± 1,20 c	60,47 ± 7.33 ab	60,50 ± 8.29 b
Fe-Np + Zn-Np (T3)	50,23 ± 1,27 b	65,87 ± 0.03 ab	72,13 ± 0.62 a
Fe-Q + Zn Q (T4)	51,93 ± 0,95 ab	53,97 ± 6.23 b	61,67 ± 5.08 b

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p<0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoria propia.

Contenido de AIA (ácido indolacético) en raíces de plantas de chocho

El contenido de AIA en las raíces de plantas de chocho presentó diferencias significativas entre fertilizaciones, siendo los tratamientos T2 (Fe-Np) y T3 (Fe-Np + Zn-Np) los que mayor Contenido de AIA (ácido indolacético) presentó (Tabla 7).

Tabla 7

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el contenido de AIA (ácido indolacético) en raíces de plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo

Tratamientos	AIA (mg.ml ⁻¹)
Testigo	45,32 ± 1,92 b
Fe-Np (T1)	49,12 ± 2,46 b
Zn-Np (T2)	59,21 ± 4,31 a
Fe-Np + Zn-Np (T3)	63,50 ± 6,04 a
Fe-Q + Zn Q (T4)	45,98 ± 2,31 b

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Número de flores

El número de flores en las plantas de chocho presentó diferencias significativas ($F = 8.95$, $p = 0.0024$) entre las fertilizaciones, siendo el tratamiento T2 (Zn-Np) el que obtuvo el mayor número de flores, a diferencia de los demás tratamientos (Tabla 8).

Tabla 8

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el número de flores en plantas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino en campo

Tratamientos	Número de flores
Testigo	34,33 ± 5,13 b
Fe-Np (T1)	36,67 ± 2,89 ab
Zn-Np (T2)	46,67 ± 2,89 a
Fe-Np + Zn-Np (T3)	26 ± 5,29 b
Fe-Q + Zn Q (T4)	31 ± 5,29 b

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Número de vainas, número de semilla por vaina

El número de semillas por vaina en campo presentó diferencias significativas ($F=3.79$, $p=0.0021$) entre tratamientos, siendo las plantas fertilizadas con Zn-Np las que obtuvieron mayor número de vainas con respecto a los demás. Sin embargo, en el número de semillas por vaina se puede observar que las plantas fertilizadas con Fe-Np + Zn-Np obtuvieron mayor número de semillas con respecto a los demás tratamientos, observando diferencias significativas ($F= 3.79$, $p= 0.0399$) entre los tratamientos (Tabla 9).

Tabla 9

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el número de vainas y número de semilla por vaina en chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino

Tratamientos	Número de vainas	Semilla por vaina
Testigo	43,85 ± 0,00 cd	2.67 ± 0.58 b
Fe-Np (T1)	55,70 ± 0,30 b	3.67 ± 1.15 ab
Zn-Np (T2)	79 ± 6,80 a	3.00 ± 0.00 ab
Fe-Np + Zn-Np (T3)	52,20 ± 3,30 bc	4.67 ± 0.58 a
Fe-Q + Zn Q (T4)	36,55 ± 1,55 d	3.33 ± 0.58 ab

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p<0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Porcentaje de semilla no comercial

El porcentaje de semillas no comercial presentó diferencias significativas ($F=2,98$; $p=0.0036$) entre los demás tratamientos, siendo las plantas fertilizadas con Zn-Np las que obtuvieron menor porcentaje de semillas no comercial (Tabla 10).

Tabla 10

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el porcentaje de semilla no comercial de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino

Tratamientos	Semilla no comercial (%)
Testigo	7,06 ± 0,89 a
Fe-Np (T1)	6 ± 0,61 ab
Zn-Np (T2)	5,18 ± 0,72 ab
Fe-Np + Zn-Np (T3)	5,60 ± 1,26 ab
Fe-Q + Zn Q (T4)	6,90 ± 1,50 b

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Rendimiento por Kg.ha⁻¹ del grano de chocho.

El rendimiento presentó diferencias significativas ($F=8,67$; $p= 0.0027$) entre tratamientos, siendo las plantas fertilizadas con Fe-Np + Zn-Np las que obtuvieron mayor rendimiento, en comparación con el testigo (Tabla 11).

Tabla 11

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el rendimiento por Kg.ha⁻¹ de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino

Tratamientos	Rendimiento (Kg.ha ⁻¹)
Testigo	1.31 ± 0,17 b
Fe-Np (T1)	1.24 ± 0,19 b
Zn-Np (T2)	1.67 ± 0,14 ab
Fe-Np + Zn-Np (T3)	1.86 ± 0,26 a
Fe-Q + Zn Q (T4)	1.07 ± 0,10 ab

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

VARIABLES MEDIDAS EN LABORATORIO

Niveles de Fe y Zn (mg.kg⁻¹) en semillas de chocho

Los niveles de Fe y Zn en semillas de chocho sustraídas de las 10 plantas tomas al azar en campo presentaron diferencias significativas Fe (F=10,50; p=0,0013) y Fe (F=2,85; p=0.008) entre los distintos niveles de fertilización con respecto a los niveles de las plantas testigo (Tabla 12).

Tabla 12

Efecto de la fertilización con nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre los niveles de Fe y Zn en grano de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino

Tratamientos	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Testigo	72,73 ± 15,05 ab	36.30 ± 3.12 b
Fe-Np (T1)	112,40 ± 5,94 a	29.60 ± 3.30 b
Zn-Np (T2)	46,80 ± 28,78 b	46.00 ± 0.00 a
Fe-Np + Zn-Np (T3)	61,23 ± 30,58 ab	35,70p ± 4,79 b
Fe-Q + Zn Q (T4)	73,10 ± 12,76 ab	34.93 ± 2.28 b

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo a Tukey (p<0,05); promedio ± desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Proteínas

El contenido de proteínas en semillas de chocho sustraídas de las 10 plantas tomas al azar en campo presentaron diferencias significativas (F=10,61; p=0,0013) entre fertilizaciones, con respecto al contenido de proteínas de las plantas testigo (Tabla 13).

Tabla 13

Efecto de la fertilización de nanopartículas de Fe y Zn y quelatos de Fe y Zn sobre el contenido de proteínas en semillas de chocho (L. mutabilis) variedad I-450 Andino

Tratamientos	Proteína (%)
Testigo	54,75 ± 0,05 b
Fe-Np (T1)	70,60 ± 0,30 a
Zn-Np (T2)	62,25 ± 0,25 ab
Fe-Np + Zn-Np (T3)	57 ± 7,70 b
Fe-Q + Zn Q (T4)	67,83 ± 2,40 a

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p < 0,05$); promedio \pm desviación estándar. Nanopartículas (Np), Quelatos (Q). Autoría propia.

Discusión

Los datos de la altura en plantas de chocho concuerdan también por los mencionados por Basantes (2015), quien señala que la altura de las plantas de chocho pueden llegar a valores entre los 80 a 150 cm, resultados que difieren a los obtenidos en esta investigación, en donde se pudo observar que las plantas de chocho tuvieron entre 82,56 a 156 cm de altura.

El contenido de AIA se encuentra presente en las plantas de chocho, siendo la fertilización tratada con Fe-Np + Zn-Np, la que obtuvo un contenido de AIA ($63,50 \text{ mg.ml}^{-1}$) mayor a los demás tratamientos, resultados superiores a los mencionados por Huasasquiche *et al.* (2020) quienes encontraron la presencia del contenido de AIA en raíces de chocho en una concentración de 40 mg.ml^{-1} . Siendo el AIA una hormona vegetal que ayuda a regular diversos procesos del desarrollo vegetal, contribuyendo en el crecimiento radicular y foliar de la planta (Huasasquiche *et al.*, 2020).

El número de flores en plantas de chocho difieren a los expuestos por (Falconí, 2012), en donde nos muestra que el número promedio de flores en plantas de chocho es de 35 flores por

planta, por lo que podemos decir que al aplicar nanopartículas de Zn a una dosis de 64 mg.ml⁻¹ se logra obtener mayor número de flores por planta (46,67 flores).

Al aplicar nanopartículas a una dosis de 64 mg. L⁻¹ se obtiene mayor número vainas (79 vainas), mayor número de semillas por vaina presentando un total de 4,67 semillas, así como también un menor porcentaje en la obtención de semillas no comerciales (6,90%), estos resultados, difieren a los obtenidos por Erazo (2021) quien en su estudio obtuvo un resultado de 38 a 59 vainas por planta y de 3 a 4 semillas por vaina, y un 19,20% de semilla no comercial, al utilizar nanopartículas y quelatos de 75 mg.L⁻¹.

Al utilizar Fe-Np + Zn-Q y Fe- Q + Zn-Q a una dosis de 64 mg.L⁻¹ presentan mayor rendimiento (1310 - 1860 kg/ha) en comparación con el testigo, resultados positivos, que difieren a los obtenidos por Erazo (2021), en donde al aplicar nanopartículas de 75 mg.L⁻¹ solo se obtuvo un rendimiento de 823, 89 kg.ha⁻¹. Por lo que la fertilización es uno de los factores importantes para el desarrollo, productividad y calidad en el chocho, por lo que al aplicar dosis elevada (≥ 80 mg.L⁻¹), presentan un efecto fitotóxico, provocando deficiencias en el crecimiento y una baja productividad del cultivo (Erazo, 2021).

Los micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas son el zinc y el hierro, por lo que en nuestros resultados podemos observar que el contenido de Fe fue mayor cuando se aplicó Fe-Np y de Zn cuando se aplica Zn-Np, estos se debe quizá a la incorporación directa de estos micronutrientes, asimilados de mejor manera, ya que las nanopartículas, son fertilizantes de lenta liberación y que la planta puede asimilarlo progresivamente y de mejor manera. Sin embargo, se puede observar que el tratamiento T4 (Fe-Q + Zn Q) para Fe y el tratamiento T2 (Zn-Np) para Zn, presentaron niveles de Fe y Zn casi similares a los establecidos por (Basantes, 2015), donde nos menciona que los niveles pueden estar entre los 78,45 mg.ml⁻¹ y Zn 42,84 mg.ml⁻¹.

El contenido de proteínas en las semillas de chocho al aplicar Zn- Np y Fe-Q + Zn-Q presentan un alto contenido de proteína encontrándose entre el 67 al 70 %, estos resultados

demonstraron ser mayores a los establecidos por Erazo (2021), en donde al aplicar quelatos y nanopartículas de Fe y Zn 75 mg.L^{-1} en plantas de chocho, el porcentaje de proteína varía entre 50 a 60%. El chocho es considerado una planta leguminosa, caracterizada por tener un alto contenido de proteína (Falconí, 2012).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Las plantas fertilizadas con Nanopartículas de Fe y Zn a una dosis de 64 mg.L^{-1} , obtuvieron significativamente un mayor crecimiento (156 cm de altura) y rendimiento de chocho (*Lupinus mutabilis Sweet*) variedad INIAP-450 Andino en campo, con un total de 1860 kg.ha^{-1} , en comparación con la fertilización de quelatos de Fe y Zn, donde se obtuvo un crecimiento de 150 cm y un rendimiento de 1070 kg.ha^{-1} .
- Al utilizar nanopartículas de Fe y Zn a una dosis de 64 mg/L se observó que el contenido de clorofila en hojas de chocho y ácido indolacético (AIA) en raíces fueron mayores (72 cci y $\text{AIA}=63,5 \text{ mg.ml}^{-1}$), que al utilizar quelatos de Fe y Zn donde se obtuvo un contenido de clorofila de 61,67 cci y un contenido de AIA de $45,98 \text{ mg.ml}^{-1}$.
- En las plantas de chocho al utilizar nanopartículas de Fe y Zn se logró obtener una altura de 156 cm, con 79 vainas, de 4 a 5 semillas por vaina, teniendo estas semillas altos niveles de Fe y Zn ($\text{Fe}=112,40 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $\text{Zn}= 46 \text{ mg.Kg}^{-1}$) y un alto porcentaje de proteína, con una producción de 1860 kg.ha^{-1} y con un porcentaje bajo de semilla no comercial (6,90%), en comparación con los quelatos donde se obtuvieron resultados inferiores a los expuestos.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar nanopartículas de Fe y Zn a una dosis de 64 mg/L, debido a que el estudio realizado en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-IASA mostraron resultados positivos con el incremento en el rendimiento y obteniendo un grano de calidad.
- Realizar una investigación similar en plantas de chocho variedad Iniap-450 andino, bajo invernadero y sus resultados obtenidos en cuanto a crecimiento y rendimiento, comparar con los resultados obtenidos en este ensayo.
- Realizar un análisis de suelo previo a la siembra del cultivo, para evitar enfermedades que con el tiempo puedan afectar el ensayo que se desee realizar.

Bibliografía

- Allauca, V. (2005). *Desarrollo de la tecnología de elaboración de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) germinado fresco para aumentar el valor nutritivo del grano* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1424>
- Amezcuca, J., y Lara, M. (2019). El zinc en las plantas. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 68(8), 28-35.
<https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-68-numero-3/421-el-zinc-en-las-plantas>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos Andinos del Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10163>
- Caicedo, C., Murillo, A., Peralta, E., Pinzón, J., y Rivera, M. (14 de mayo de 2000). INIAP-450 Andino: Variedad de chocho para la zona centro/norte de la Sierra ecuatoriana. *Chocho; Lupinus mutabilis. Revista Informativa INIAP*, 14, 1-4.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2577>
- Caicedo, C., y Peralta, E. (13 de enero 2001). El cultivo de chocho *Lupinus mutabilis Sweet*: Fitonutrición, enfermedades y plagas, en el Ecuador. *Chocho; Lupinus mutabilis. Revista Informativa INIAP*, 103,1-8. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/444>
- Castillo, G., Altuna, B., Michelena, G., Sánchez, J., y Acosta, M. (2005). *Cuantificación del contenido de ácido indolacético (AIA) en un caldo de fermentación microbiana* [Proyecto de investigación, Universidad de Murcia]. <http://hdl.handle.net/10201/2255>
- Erazo, A. (2021). *Efecto de fertilización con Zn y Fe dopadas en nanopartículas sobre el rendimiento y calidad del grano de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en campo y bajo invernadero* [Trabajo de titulación, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26768>

- Falconí, C. E. (2012). *Lupinus mutabilis* in Ecuador with special emphasis on anthracnose resistance [Thesis, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/210228>
- Falconí, C. E., y Yáñez, V. (2016). Dry heat treatment of Andean lupin seed to reduce anthracnose infection. *Crop Protection. Elsevier Magazine*, 89, 178–183.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.07.021>
- Falconí, C. E., y Yáñez, V. (2018). Efficacy of UV-C radiation to reduce seedborne anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) from Andean lupin (*Lupinus mutabilis*). *Plant Pathology*, 67(4), 831–838. <https://doi.org/10.1111/ppa.12793>
- Falconí, C. E., y Yáñez, V. (2019). Solar UV-B radiation limits seedborne anthracnose infection and induces physiological and biochemical responses in *Lupinus mutabilis*. *Plant Pathology. Journal of the British Society for Plant Pathology*, 68(9), 1635–1644.
<https://doi.org/10.1111/ppa.13086>
- Falconí, C. E., y Yáñez, V. (2022). Available Strategies for the Management of Andean Lupin Anthracnose. *Plants Journals Awarded*, 11(5), 654-655.
<https://doi.org/10.3390/plants11050654>
- Forero, M. (29 de noviembre de 2022). *Quelatos de hierro*. Leroymerlin. Recuperado el 13 de noviembre del 2022. <https://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/consejos/que-son-los-quelatos-de-hierro>.
- Google maps. (12 de enero de 2023). *Ubicación satelital del sitio de estudio*. Google maps.
<https://goo.gl/maps/aFzGNP7h5MrEkMGDA>
- Herrero, J. (26 de mayo de 2015). *Fertilización con hierro, importancia y síntomas*. Flora de Iberia. Recuperado el 14 de Noviembre del 2022.
<https://floradeiberia.com/2403/fertilizacion-con-hierro-importancia-y-sintomas/>
- Huwasquiche, L., Moreno, P., y Jiménez, J. (2020). *Caracterización y evaluación del potencial PGPR de la microflora asociada al cultivo de Tarwi (Lupinus mutabilis Sweet)*. *Ecología Aplicada*, 19(2), 65-70. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1557>

- Intagri. (14 de mayo de 2017). *Diagnóstico Visual de Deficiencias Nutrimientales*. [Deficiencia en plantas]. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/Diagnostico-Visual-de-Deficiencias-Nutrimientales>
- Intagri. (16 de noviembre 2019). *El Hierro (Fe) en la Nutrición Vegetal*. [Nutrición vegetal]. [https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-hierro-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20hierro%20\(Fe\)%20es%20un,cloroplastos%20y%20la%20actividad%20enzim%C3%A1tica](https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-hierro-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20hierro%20(Fe)%20es%20un,cloroplastos%20y%20la%20actividad%20enzim%C3%A1tica).
- López, O., y Díaz, Á. (2018). *Evaluación de la actividad fitorreguladora de auxinas obtenidas a partir de un extracto de tallos de fréjol común (Phaseolus vulgaris L.) en cultivos de plantas in vitro* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27503>
- Lucena, J. (20 de noviembre de 2004). *Quelatos de hierro conteniendo o pEDDHA*. Phytohemeroteca. <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/163-noviembre-2004/quelatos-de-hierro-conteniendo-opeddha-estudios-sobre-su-eficacia>
- Murgueitio, E., Falconí, C. E., Cumbal, L., Gómez, J., Yanchatipán, K., Tapia, A., Martínez, K., Sinde, I., y Toulkeridis, T. (2022). Synthesis of Iron, Zinc, and Manganese Nanofertilizers, Using Andean Blueberry Extract, and Their Effect in the Growth of Cabbage and Lupin Plants. *Nanomaterials*, 12(11), 1921-1923. <https://doi.org/10.3390/nano12111921>
- Peralta, E., Murillo, A., Mazón, N., Villacrés, E., y Rivera M, M. (2013). *Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: Chocho, quinua y amaranto, para la sierra de Ecuador*. *Revista Informativa INIAP*, 151, 7-30. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2713>
- Proaño, A. (2011). *Regeneración y conservación mediante la técnica de crecimiento mínimo de lupinus mutabilis (chocho andino) in vitro* [Proyecto de investigación, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3278>

- Rana, A., Yadav, K., y Jagadevan, S. (2020). A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity. *Journal of Cleaner Production*, 272, 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122880>
- Rivera, R., Preciado, P., Fortis, M., Betancourt, R., Yescas, P., y Orozco, J. A. (2021). Nanopartículas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 791–803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Sánchez, F. (26 de mayo de 2016). *Efectos de nanopartículas en plantas*. Cienciamx <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/nanotecnologia/10144-investigan-efectos-de-nanopartículas-en-plantas>
- Santillán, D. (2021). *Descripción de las fases fenológicas iniciales del cultivo de Lupino (Lupinus mutabilis, Sweet), Ecotipos peruano y nativo y su tiempo fisiológico* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8069>
- Tapia, M. (2015). *El tarwi, Lupino andino*. [Archivo PDF]. <http://fadvamerica.org/wp-content/uploads/2017/04/TARWI-espanol.pdf>
- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, L., y Segovia, G. (2006). Usos alternativos del chocho: Chocho (*Lupinus mutabilis sweet*) alimento andino redescubierto, 333, 4-11. *Revista Informativa INIAP*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/298>
- Yáñez, V., y Falconí, C. E. (2018). Efficacy of *Bacillus* spp. to biocontrol of anthracnose and enhance plant growth on Andean lupin seeds by lipopeptide production. *Biological Control*, 122, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.004>
- Yáñez, V., y Falconí, C. E. (2021). *Bacillus subtilis* CtpxS2-1 induces systemic resistance against anthracnose in Andean lupin by lipopeptide production. *Biotechnology Letters*, 43(3), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03066-x>