



Efecto de cuatro concentraciones de zinc sobre los parámetros productivos y fisiológicos en germinados de *Vigna radiata*

Loaiza Castillo, Maria Lorena

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

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

3 de febrero del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de titulación: **Efecto de cuatro concentraciones de zinc sobre los parámetros productivos y fisiológicos en germinados de *Vigna radiata***, fue realizado por la señorita: **Loaiza Castillo, Maria Lorena**; 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, 3 de febrero de 2022



Firmado electrónicamente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgrt.

C. C 1708262348

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

3/2/23, 10:36

MARIA LORENA LOAIZA CASTILLO - TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO
TESIS 2023 UTITULACIÓN

NOMBRE DEL ALUMNO
MARIA LORENA LOAIZA CASTILLO

NOMBRE DEL ARCHIVO
MARIA LORENA LOAIZA CASTILLO - TESIS

SE HA CREADO EL INFORME
3 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	18	3 %
Fragmentos citados o entrecuillados	26	3 %

Coincidencias de la Web

inia.gob.pe	4	1 %
uteq.edu.ec	4	0,9 %
unip.edu.ar	6	0,8 %
unirioja.es	6	0,6 %
encolombia.com	2	0,5 %
epoch.edu.ec	2	0,4 %
hannacolombia.com	4	0,3 %
scielo.cl	2	0,3 %
isciii.es	2	0,3 %
marca.com	2	0,2 %
facebook.com	2	0,2 %
scielo.org.co	2	0,2 %
uta.edu.ec	2	0,2 %
uffa.br	2	0,1 %
nutrinews.com	2	0,1 %

1 de 44 fragmentos

Fragmento del alumno **MARCADO**

El frijol es la leguminosa alimenticia más importante para cerca de 300 millones de personas, que en su mayoría viven en países en desarrollo, debido a que este alimento tiene bajo costo y es...

Mejor coincidencia en la Web

<https://classroom.google.com/j/NTQxODQ0NDQxODEw/NTQxODQ0NjU3Nzg0/1fKNKbyN6NWWqkQOBXXGc8vm2Wkku0KgSC0stWqZFA> 1/13



Formado digitalmente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Mgrt. Landázuri Abarca, Pablo Anibal

C. C 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Loaiza Castillo, Maria Lorena**, con cédula de ciudadanía No 172125403-3, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: **Efecto de cuatro concentraciones de zinc sobre los parámetros productivos y fisiológicos en germinados de *Vigna radiata***, 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, 3 de febrero de 2023


Loaiza Castillo, Maria Lorena

C.C.: 172125403-3



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, **Loaiza Castillo, María Lorena**, con cédula de ciudadanía No. 172125403-3 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Efecto de cuatro concentraciones de zinc sobre los parámetros productivos y fisiológicos en germinados de *Vigna radiata*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 3 de febrero del 2023

Loaiza Castillo, María Lorena

C.C.: 172125403-3

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía durante este largo camino y mi refugio cuando he sentido que no podía más, quién ha cuidado de mí en cada paso que he dado y me ha llenado de mucha sabiduría para tomar buenas decisiones, quien me ha puesto gente de bueno corazón que me han aportado con una palabra de aliento para seguir en mi camino.

A mi madre Norma, por todo lo que ha hecho por mi desde que vine a este mundo, por sus palabras de aliento en mis peores momentos, su apoyo incondicional, todo lo que soy se lo debo a ella, este gran logro es dedicado especialmente para ti, con amor tu hija Lorena.

A mi mamá Lidia, porque ahora que soy madre se lo duro que es sacar a un hijo adelante, gracias por sus consejos y lo que hizo por mí a lo largo de mi camino, por nunca dejarme dormir con la barriga vacía y brindarme un techo. Porque mientras me fui formando, había un desayuno caliente para mí. La amo mucho.

A mi pequeña hija Skerly, porque ella más que nadie le tocó compartir los peores momentos para yo llegar a donde estoy, aún sin entender porque no tenía a su madre siempre, ella fue y sigue siendo un ejemplo de hija, estoy muy orgullosa de ti mi amor chiquito, gracias por demostrarme que los buenos hijos si existen, esto también es por ti y lo sabes porque hoy seré ingeniera y en unos años quiero que tú seas mejor que yo, no olvides que te amo y siempre vas a contar con mamá.

A mi mejor amigo Jaime, por todo su apoyo, gracias por siempre haber estado para mí, aunque no te demuestro, pero te quiero mucho y lo sabes, sin ti no lo hubiera logrado, te agradezco por tus consejos a medias, las risas, las noches sin dormir para rendir exámenes, pero sobre todo por ser incondicional. Siempre serás mi mejor amigo.

Maria Lorena Loaiza Castillo

AGRADECIMIENTO

A mi hermana Joy, por darme una palabra de aliento durante toda mi carrera universitaria, cuando ya no podía siempre me motivabas, por escucharme, por estar al pendiente de mí siempre, por ser más que una hermana, una mejor amiga, sin duda alguna sé que la familia no siempre es la de sangre, te amo con todo mi corazón.

A los docentes: Mgtr. Landázuri Pablo, a pesar de sus problemas siempre estuvo al frente de mi trabajo con gran preocupación, para que se realice con éxito, hoy sin duda sé que escogí un buen tutor, Dra. Elizabeth Urbano, por haberme escuchado, por los apuros en los que muchas veces se encontró por mí y a pesar de todo siempre me apoyo, no solo es una gran docente, para una gran persona, Ing. Julio Pazmiño, por su apoyo y dedicación a los IASAS en cada etapa de nuestra carrera, Dr. Jaime Villacis, Lic. Marco Taco, por el aporte de sus conocimientos en mi proyecto, su tiempo y consejos fueron de gran importancia para esta tesis. Gracias infinitas queridos maestros.

Dr. Pozo, sin duda una de las personas que marcó el antes y el después en mi trayectoria dentro de la universidad, como si fuera el día de ayer llevo guardado en mi corazón muchas de sus sabias palabras, espero siga motivando a más estudiantes, lo llevo en mi corazón siempre por ser un gran maestro y un gran amigo para mí, en la etapa más dura de mi vida siempre tuve un hombro para llorar, gracias por todo.

A mis amigos: Caro Gavidia, Wendy Vargas, Jessica Caiza, Freddy Albiño, Elena Pazmiño, Alejandra Curipallo, Mishel Cisneros, cada uno de ellos puso un granito de arena para que lo vaya logrando, gracias por sus risas, por escucharme, por el apoyo durante mi vida universitaria, los guardo en mi corazón por siempre.

Maria Lorena Loaiza Castillo

Índice de Contenido

Carátula	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos	3
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
Índice de Contenido	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I	15
INTRODUCCIÓN	15
Antecedentes	15
Justificación	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	19
Hipótesis	19
Hipótesis nula	19
Hipótesis alterna	19
CAPÍTULO II	20
MARCO REFERENCIAL	20
Frijol	20
Descripción	20
Variedades de Frijol en América Latina	20

Frijol mungo (<i>Vigna radiata</i>)	20
Descripción	20
Subgrupos de <i>Vigna radiata</i>	21
Taxonomía	21
Proceso de germinación.....	22
Semilla del frijol mungo	23
Propiedades alimenticias.....	23
Zinc	24
Aspectos generales	24
Ingesta recomendada	25
Zinc en plantas.....	26
Sulfato de zinc.....	26
Fortificación de los alimentos	27
Semillas	27
Proceso fisiológico	27
Activación de la semilla	28
Vigor	28
Prueba de germinación.....	28
Ácido fítico	29
Descripción	29
Función del ácido fítico en plantas	29
Ácido indolacético.....	30
CAPÍTULO III.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
Ubicación y características del área de estudio	31
Preparación de semillas	31

Análisis estadístico	34
Variables a evaluar	35
Evaluación del porcentaje de germinación.....	35
Evaluación de la longitud de plúmula y radícula	35
Evaluación de la materia seca.....	36
Evaluación del contenido de zinc	36
Evaluación del contenido de ácido fítico	37
Evaluación de la biodisponibilidad del zinc	38
Evaluación de la concentración de Ácido Indol acético (AIA).....	39
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
Resultados.....	41
Variables agronómicas	41
Porcentaje de germinación	41
Longitud de plúmula y radícula.....	41
Variables fisiológicas	43
Materia seca.....	43
Relación molar AF: Zn	43
Ácido indolacético	45
Discusión	46
CAPÍTULO V	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
Conclusiones	50
Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Valor nutricional del frijol mungo</i>	24
Tabla 2 <i>Ingesta recomendada de Zinc para humanos en diferentes etapas de desarrollo</i>	26
Tabla 3 <i>Descripción de los tratamientos para la presente investigación</i>	33
Tabla 4 <i>Relación molar (AF:Zn)</i>	39
Tabla 5 <i>Porcentaje de germinación en frijol mungo. Tratados con 4 dosis diferentes de Zn</i>	41
Tabla 6 <i>Promedio \pm desviación estándar, de la longitud de radícula y plúmula en germinados de frijol mungo, tratados con 4 dosis diferentes de zinc</i>	42
Tabla 7 <i>Promedio \pm desviación estándar del peso húmedo y seco de los germinados de frijol mungo tratados con diferentes cantidades de zinc</i>	43
Tabla 8 <i>Promedio y desviación estándar del contenido de AF y contenido de zinc</i>	44
Tabla 9 <i>Promedio y desviación estándar de la concentración de ácido indolacético</i>	45

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ubicación geográfica del laboratorio de fisiología vegetal y principios activos</i>	31
Figura 2 <i>Desinfección de semillas de Frijol mungo en el laboratorio de nutrición vegetal</i>	32
Figura 3 <i>Preparación de semillas de Vigna radiata</i>	33
Figura 4 <i>Disposición de tratamientos en germinados de frijol mungo</i>	34
Figura 5 <i>Evaluación de materia seca en germinados de frijol mungo</i>	36
Figura 6 <i>Evaluación del contenido de zinc, con diferentes dosis para frijol mungo</i>	37
Figura 7 <i>Evaluación de ácido fítico en Vigna radiata expuestas con diferentes dosis de Zn</i>	38
Figura 8 <i>Medición de la concentración de AIA en vigne radiata</i>	44
Figura 9 <i>Germinados de frijol mungo con diferentes dosis de zinc</i>	42
Figura 10 <i>Análisis de regresión lineal simple</i>	45

RESUMEN

El zinc es un oligoelemento esencial para los seres vivos y de gran importancia para el sistema inmunitario. El zinc es importante para la neurotransmisión del cerebro, interviene el crecimiento, ayuda al ADN, la ingesta se recomienda a personas en estado de gestación, niños en crecimiento y personas de la tercera edad. Lamentablemente el contenido de zinc es bajo en vegetales y la biodisponibilidad está condicionada por el ácido fítico considerada como un factor antinutricional. Varios estudios han determinado que los germinados son una fuente importante de proteínas, contienen enzimas y vitaminas, estos se pueden incluir de manera sencilla en la dieta del ser humano, contienen nutrientes de alta calidad y pocas calorías. Son una fuente importante de minerales, principalmente de calcio y magnesio, y en menor cantidad manganeso, hierro y zinc. El presente estudio tuvo como finalidad evaluar el efecto de 4 dosis de zinc en relación al testigo sobre los parámetros agronómicos y fisiológicos con semillas de frijol mungo para la obtención de germinados enriquecidos con zinc. Se demostró que el T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, ayudó a mejorar la germinación, el crecimiento radicular y de plúmula, la concentración de ácido indolacético y concentración de zinc, respecto al tratamiento control (0 $\mu\text{g.ml}^{-1}$). Con respecto al T4 con (300 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, se evidenció toxicidad. Al biofortificar las semillas con zinc, se promueve un mejor rendimiento en las variable agronómicas y fisiológicas, puede ser una alternativas factible y rápida para obtener un alimento rico en zinc.

Palabras clave: Frijol mungo, *Vigna radiata*, germinados, zinc.

ABSTRACT

Zinc is an essential trace element for living beings and of great importance for the immune system. Zinc is important for neurotransmission in the brain, intervenes in the grow, helps DNA, intake is recommended for pregnant women, growing children and seniors. Unfortunately the zinc content is low in vegetables and the bioavailability is conditioned by phytic acid considered as an anti-nutritional factor. Several studies have determined that sprouts are an important source of proteins, enzymes and vitamins, these can be easily included in the human diet, contain high-quality nutrients and are low in calories. Those are an important source of minerals, mainly calcium and magnesium, and to a lesser extent manganese, iron and zinc. The purpose of this study was to evaluate the effect of 4 doses of zinc in relation to the control on the agronomic and physiological parameters with *Vigna radiata* seeds to obtain zinc-enriched shoots. It was shown that in T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$ at zinc) helped to improve germination, root and plumule growth, indoleacetic acid concentration and zinc concentration, regarding control (0 $\mu\text{g.ml}^{-1}$) Regarding T4 (300 $\mu\text{g. ml}^{-1}$ at zinc) toxicity was evidenced by biofortifying the seeds with zinc, a better behavior in agronomic and physiological variables is promoted, it can be a feasible and fast alternative to obtain a food rich in zinc.

Keywords: Frijol mungo, *Vigna radiata*, sprout, zinc.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En el estudio realizado por Vera (2022) titulado “Respuesta agronómica del cultivo de fréjol (*Vigna radiata*) a la aplicación de Nitrógeno y Zinc” con el objetivo de evaluar la respuesta agronómica del frejol mungo (*Vigna radiata*) a la aplicación de nitrógeno y zinc en el cantón El Triunfo provincia del Guayas, señala que la investigación da uso de un enfoque cuantitativo experimental del tipo campo, donde se planteó un diseño de bloques al azar en un arreglo factorial de 2*2, posteriormente al realizar el análisis y la comparación de medias con la prueba de Duncan (test utilizado para las comparaciones múltiples), mediante la aplicación de la técnica ANOVA, obteniendo como principal resultado longitud de vainas; tanto el número de semillas y peso de 100 semillas estuvo influenciado por la dosis más grande de nitrógeno y zinc, distinto de manera significativa con respecto al testigo; con respecto al número de vainas por planta no se observó diferencia con respecto al testigo.

De acuerdo con el informe emitido por Díaz, *et al.* (2022), el frijol mungo (*Vigna radiata*) es una de las leguminosas más importantes para el consumo humano directo a nivel mundial. Es una fuente rica y relativamente barata de proteínas y micronutrientes, especialmente hierro y zinc. El frijol es un objeto de estudio de biofortificación, para obtener mayor disponibilidad de hierro y zinc (Fe/Zn), que ayudan a mejorar la desnutrición principalmente en los países en desarrollo.

El frijol mungo, por disponer aproximadamente un 22% de proteínas, se considera un importante componente en la alimentación, dentro de los principales valores nutricionales encontramos un alto porcentaje de proteína, fibra, minerales, carbohidratos, etc. El frijol mungo al presentar estas características puede ser considerado como una alternativa para la alimentación, ayudando principalmente a la nutrición de las provincias del austro y sierra norte, Ochoa (2016).

El frijol es la leguminosa alimenticia más importante para cerca de 300 millones de personas, que en su mayoría viven en países en desarrollo, debido a que este alimento tiene bajo costo y es asequible para consumidores de bajos recursos. Es una especie de clima templado, por tanto, no crece bien en zonas frías o calientes. El umbral térmico de la especie es de 10° C como temperatura mínima y 25° C como temperatura máxima. Las heladas producen la muerte de las plantas, en tanto que el exceso de calor afecta a la floración y aumenta la esterilidad de las flores, Torres, *et al.* (2022).

El autor Hernández (2022) en su informe titulado “Efecto de la fertilización con zinc en la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas” menciona que el zinc, en particular, es un microelemento esencial para el crecimiento de las plantas, interviniendo sobre los procesos fotosintéticos, la regulación y la síntesis de aproximadamente 2800 proteínas y el mantenimiento de la integridad de las membranas de la raíz. Las semillas enriquecidas con zinc son importantes no solo para el consumo humano, sino que también mejoran el rendimiento de los cultivos en suelos deficientes de zinc (Zn), al proporcionar un mejor crecimiento de las plántulas, tolerancia al estrés abiótico y resistencia a patógenos. Al ingerir dosis inadecuadas de zinc puede ocasionar un sistema inmune débil, trastornos fisiológicos, emaciación, retraso del crecimiento, discapacidad cognitiva y en casos graves la muerte Ohanenye, *et al.* (2022).

Al igual que para los animales y los humanos, el zinc (Zn) es un micronutriente para las plantas. Sin embargo, se estima que alrededor del 50% de los suelos utilizados para la producción de granos en todo el mundo son deficientes en zinc disponible para las plantas. El zinc cumple con el rol importante dentro del metabolismo de las plantas, regulando los genes, sintetizando proteínas, metabolizando los carbohidratos, ayudando a la fotosíntesis, producción de semillas como también a la defensa de las plantas contra las enfermedades, Berst (2022).

Justificación

El zinc en los vegetales no se oxida ni se reduce, sino actúa sobre la actividad de varias enzimas, incluidas la ARN polimerasa, la anhidrasa carbónica, el alcohol deshidrogenasa, el

glutamato deshidrogenasa y el superóxido dismutasa (Cu/Zn-SOD). El zinc es un micronutriente esencial para las plantas y su disponibilidad en el suelo es de gran importancia en muchos cultivos, Castillo, *et al.* (2018).

Las plantas también requieren del zinc para la síntesis de triptófano, un aminoácido clave en la síntesis de la auxina ácido indolacético. Por lo tanto, el zinc también opera en el control del desarrollo de las plantas a través de su acción indirecta sobre las auxinas, González, *et al.* (2022).

El zinc es absorbido por la planta, ya sea a través de las hojas, raíces o en el transporte de larga distancia en la xilema, se une con ácidos orgánicos o existe como un catión divalente libre. En la savia floemática está presente en altas concentraciones, ligado a solutos orgánicos de bajo peso molecular. Puede completarse con fosfolípidos y grupos sulfhidrilos, donde protege los lípidos y proteínas de membranas contra el daño oxidativo. Este metal es un componente de numerosas enzimas como anhidrasas, oxidasas y peroxidasas, desempeña un papel fundamental en la regulación del metabolismo del nitrógeno, la proliferación celular, la fotosíntesis y la síntesis de auxinas. Además, está presente en la regulación de procesos biológicos como la floración, la fotomorfogénesis y las respuestas a patógenos, Broadley, *et al.* (2012).

La disminución de la actividad fotosintética de las plantas deficientes en zinc puede deberse a la inhibición de la actividad de la anhidrasa carbónica, la disminución del contenido de clorofila y los cambios en la estructura del cloroplasto. En consecuencia, los suelos con baja disponibilidad de zinc exhiben un potencial de rendimiento más bajo y afectan negativamente la calidad nutricional del grano cosechado, Crosta (2020).

El zinc se caracteriza por ser ubicuo y versátil de entre todos los cofactores metálicos, cuenta con más de 300 enzimas que tienen un cofactor Zn. Las proteínas unidas a este elemento se adhieren al ácido desoxirribonucleico (ADN). Las proteínas de Zn son una clara evidencia de la versatilidad de este en los sistemas biológicos. Aproximadamente el 3% del

genoma de los mamíferos codifica proteínas con dedos de Zn. Como cofactor, el Zn puede actuar estructural o catalíticamente como en la anhidrasa carbónica, además de actuar de forma coordinada con el sustrato CO₂ en la carboxipeptidasa, participa activamente en la ruptura de la unión peptídica, Castillo, *et al.* (2018).

En enzimas de unión múltiple como el aspartato transcarbamilato, el Zn juega un papel estructural al coordinar las posiciones de las subunidades reguladoras y catalíticas; en otra función estructural, la superóxido dismutasa de cobre, requiere Zn para colocar el átomo de cobre en el canal al que accede el sustrato; en las proteínas de Zn, el Zn²⁺ ayuda a estabilizar la estructura de los rizos, que contactan con los surcos mayores y menores del ADN, Castillo, *et al.* (2018).

El déficit de zinc está estrechamente relacionado con el metabolismo del nitrógeno. Cuando los niveles de Zn se reducen, la concentración de proteínas disminuye, mientras que la de aminoácidos aumenta. Tras la restauración de Zn, se induce rápidamente la síntesis de proteínas. La inhibición de la síntesis de proteínas bajo la deficiencia de Zn es principalmente el resultado de una reducción del ácido ribonucleico (ARN). Esto se atribuye a la menor actividad de la Zn polimerasa, a una reducción de la integridad estructural de los ribosomas ya una mayor degradación del ARN, Patel, *et al.* (2007).

Por tanto, la presente investigación pretende evaluar el efecto en diferentes concentraciones de zinc en semillas de frijol mungo (*Vigna radiata*) sobre los parámetros de crecimiento y el vigor de los germinados.

Objetivos

Objetivo General

Determinar efecto de cuatro concentraciones de zinc sobre los parámetros productivos y fisiológicos en germinados de frijol mungo (*Vigna radiata*).

Objetivos Específicos

- Determinar la dosis óptima que permita tener la mayor productividad de germinados de *Vigna radiata*.
- Determinar el contenido de zinc, ácido indolacético y ácido fítico germinados de frijol mungo sumergidos en cuatro niveles de zinc.

Hipótesis

Hipótesis nula

Los germinados de *Vigna radiata* tratados con zinc presentan similar producción que los no tratados.

Hipótesis alterna

Los germinados de *Vigna radiata* tratados con zinc presentan mayor producción que los no tratados.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

Frijol

Descripción

El frijol es una de las leguminosas de grano más importante dentro del consumo humano, es importante mencionar que su producción es diversa ya que se cultiva en distintos lugares del mundo, tomando en cuenta que el 30% de su producción proviene de América latina, Vizgarra, *et al.* (2014).

Variedades de Frijol en América Latina

Después de varias investigaciones arqueológicas, esta especie de leguminosa fue encontrada, especialmente en los países de Estados Unidos, México y Perú, se ha desarrollado diferentes estrategias gracias al mejoramiento de la tecnología para perfeccionar la producción de esta especie por medio del mejoramiento genético y la creación de nuevas variedades, Vizgarra, *et al.* (2014).

Las variedades del frijol se clasifican por medio de criterios de consumo y agronómicos. Dentro del criterio agronómico se debe de tomar en cuenta que los limitantes de producción, ya sean resistentes o susceptibles afectan en el ámbito de crecimiento. Por otra parte, el color y tamaño es uno de los criterios más importantes para poder identificar la variedad de especies en los distintos países, Heuzé, *et al.* (2014).

Frijol mungo (*Vigna radiata*)

Descripción

Vigna radiata es parte de la familia de leguminosas, estas son las legumbres más cultivadas debido a que tanto sus semillas como vainas son comestibles, además brindan una gran cantidad de proteínas que contribuyen a la nutrición del ser humano. Según la historia de su origen, estas plantas parecen haber sido domesticadas inicialmente en la India país en el cual se presenta más del 50% de la producción, pero también se puede identificar cultivos de

esta leguminosa en Asia, donde el porcentaje de cultivo es del 90% de la producción mundial. Por otro lado, China también cuenta con el 19% de producción de mungo, se encuentran entre las cinco especies más cultivadas y consumidas en ese país por el número de variedades comerciales y variedades autóctonas, Aquino, *et al.* (2014).

Estos granos contienen grandes cantidades de hierro, tiamina y riboflavina. Existe una amplia variedad de granos los cuales se cultivan solo para obtener las semillas secas, algunas solo para las vainas inmaduras comestibles, y otras para las semillas, ya sean inmaduras o maduras. La mayoría de los granos con vainas comestibles producen rendimientos relativamente bajos de semillas maduras, o semillas que son de baja calidad para comer. Este alimento se caracteriza por su efecto en el fortalecimiento del bazo en el proceso de eliminación de agua y toxinas del cuerpo, por tanto, en el informe emitido por Mariscal, *et al.* (2021), la importancia en la alimentación humana y potencial de reproducción se debe a la resistencia a las enfermedades y a algunos factores abióticos como la tolerancia al frío. Además, esta planta es cultivada particularmente en climas cálidos o en aquellos países que cuentan con estaciones cálidas y climas templados, se puede destacar a Filipinas, India y China como los países con mayor índice de producción de este cultivo.

Subgrupos de Vigna radiata

Se divide en tres subgrupos:

El primer grupo es cultivado (*Vigna radiata* subsp. *radiata*), y los otros dos son silvestres (*Vigna radiata* subsp. *sublobata* y *Vigna radiata* subsp. *glabra*), Heizé, *et al.* (2015).

Taxonomía

Aunque no se conoce con exactitud el centro de origen del frijol, no cabe duda de que es una especie de origen americano. Las formas silvestres que dieron origen a las cultivadas de hoy se les ha encontrado ampliamente distribuidas desde México hasta Argentina. Tanto los frijoles silvestres como los cultivados de centro y sud América, comparten caracteres

morfológicos que hacen suponer dos grandes centros de domesticación. Los frijoles del centro mesoamericano y los del centro andino, con su gran diversidad de formas, colores y tamaños, evidencian la gran importancia que tuvo esta especie entre las culturas precolombinas, Singh, *et al.* (1988).

La taxonomía del frijol mungo pertenece al reino Plantae o reino vegetal encontrado en la división Magnoliophyta o denominado al grupo de plantas angiospermas, en la clase Magnoliophyta conocida como dicotiledóneas o grupo de plantas que presentan en su primera fase la aparición de dos cotiledones. La subclase del frijol mungo es perteneciente al tipo Rosidae considerada la más grande de la clase Magnoliophyta presentando un orden del tipo Fabales presente en la familia Fabaceae y subfamilia Faboideae dentro de la tribu Phaseoleae subtribu Phaseolinae en los distintos tipos de frijoles presentes el frijol mungo pertenece al género *Vigna* por ello, es catalogado científicamente como *Vigna radiata*, Singh, *et al.* (1988).

Proceso de germinación

La germinación es un método que puede modificar la presencia de nutrientes y antinutrientes en semillas de leguminosas, Sangronis (2017). Es un proceso biológico natural de todas las plantas por el cual la semilla sale de su estado de latencia, una vez dadas las condiciones ambientales mínimas necesarias para su crecimiento y desarrollo, tales como humedad, temperatura, nutrientes, etc. Para que la semilla germine también existen factores externos como un sustrato húmedo, disponibilidad de oxígeno para la respiración aeróbica y una temperatura adecuada para los diferentes procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula, García (2007).

En el caso de frijol mungo, se necesita sumergir en agua aproximadamente de 6 a 8 horas, a una temperatura que oscile entre los 18 y 33 grados centígrados, manteniendo los germinados en un lugar oscuro y la humedad optima, el tiempo de germinación es de 5 a 10 días, Marquez (2014).

Semilla del frijol mungo

Dentro de las vainas de la planta de frijol se encuentran las semillas las cuales son utilizadas para la dieta del ser humano, su uso como alimento se remonta a los pueblos aborígenes americanos. Las semillas de frijol se caracterizan por tener un contenido elevado de minerales y proteínas. Las semillas de frijol suelen tener diversos colores, formas y brillo, está constituida de lo siguiente: La testa es la segunda cubierta del óvulo. El hilum es la cicatriz marcada por el funículo, la cual conduce a la semilla con la placenta, Guamán (2022).

Las semillas son una fuente vegetal de hierro, con alto contenido de fibra y vitaminas A, B, C, E y K, presenta 50 variedades de diversos tamaños y colores, son de rápida cocción, además, cuenta con la ventaja de ser de fácil digestión. Beneficios: destacan su efecto en el fortalecimiento del bazo en el proceso de eliminación de agua y toxinas del cuerpo, Guamán (2014).

Propiedades alimenticias

El frijol mungo pertenece a la familia de las leguminosas consideradas como una buena fuente de proteína, estas semillas poseen una baja concentración de glucosa al igual que el maíz, las semillas no elevan el nivel de glucosa en la sangre, debido a esto es un alimento adecuado para las personas con diabetes. Por su gran contenido nutricional de grasas y proteínas, se considera como una solución al déficit de la dieta humana y por sus múltiples nutrientes. El consumo de las semillas de frijol es recomendado como complemento en el tratamiento de la diabetes, especialistas nutricionales especifican que: $\frac{1}{2}$ taza contiene 110 calorías, 7 gramos de proteína, 0 de grasa y 18 gramos de carbohidratos, Conforme (2019).

Las proteínas alimentarias son de alto valor biológico entre los grupos alimenticios que más proporción de nutrientes otorgan al ser humano se encuentran las legumbres como lentejas, garbanzos o frijoles, una buena alimentación en proteínas se puede conseguir consumiendo al día 2 o 3 raciones de alimentos ricos en proteínas. En el informe descrito por Mancero, *et al.* (2019), el contenido de aminoácidos esenciales en los cereales está

determinado por un aminoácido limitante o en baja cantidad que es la Lisina, el arroz alcanza un 65% de calidad biológica, siendo insuficiente para ser considerada una proteína de buena calidad.

El aporte nutricional del frijol depende del tipo, pero se estima que por cada 100 gramos de frijoles aportan 71 calorías, es decir, el 4% de la cantidad diaria que en promedio necesita una persona. Asimismo, el 80% de esta leguminosa está compuesto por agua y aportan cero colesterol y grasa. En la tabla 1. se muestra el valor nutricional y propiedades del frijol, Andrade (2021).

Tabla 1

Valor nutricional del frijol mungo

Nutriente	Valor nutricional por cada 100 g	Unidad
Azúcares	6,6	mg
Carbohidratos	62,6	g
Fibra	16.3	g
Sodio	15	mg
Proteínas	23,86	g
Vitamina A	114	IU
Vitamina C	4.8	mg
Vitamina K	9	ug
Vitamina B-3	2.3	Mg
Vitamina B-9	625	ug
Hierro	6,74	mg
Calcio	132	mg
Magnesio	189	mg
Fósforo	367	mg
Potasio	1246	mg
Zinc	2,68	mg
Manganeso	1.03	mg
Selenio	8.2	ug

Nota. Autor Maldonado (2019).

Zinc

Aspectos generales

El zinc se encuentra presente en todas las células del ser humano, además de que es un mineral fundamental para la salud debido a que fortalece el sistema inmunitario del

organismo el cual ayuda a prevenir cualquier infección, también funciona para fabricar proteínas y el ADN, el material genético presente en todas las células, Maldonado (2019).

La cantidad de zinc necesaria para el cuerpo humano depende de la edad, entre los alimentos que ofrecen una gran cantidad de zinc se encuentran las carnes rojas, mariscos, cereales integrales, frijoles y lácteos. Mayormente se obtiene mediante alimentos biofortificados de alta resistencia a las plagas y enfermedades más importantes con rendimientos superiores, además posee calidad culinaria para los consumidores, Salas, *et al.* (2021).

Casi todos los suplementos multivitamínicos/minerales contienen zinc. El zinc también se vende en suplementos solos o combinado con calcio, magnesio u otros ingredientes. Los suplementos se presentan en distintas formas, entre ellas: gluconato de zinc, sulfato de zinc y acetato de zinc, Marquez (2021).

El zinc es uno de los minerales esenciales que se debe aportar al organismo debido a que está presente en todas las células del organismo, por lo que un déficit de este mineral podría derivar en problemas de salud. Es un microelemento esencial para el normal crecimiento de las plantas, interviniendo sobre los procesos fotosintéticos, la regulación y la síntesis de aproximadamente 2800 proteínas y el mantenimiento de la integridad de las membranas de la raíz, Marquez (2021).

Existen tres enzimas en las cuales el Zn (II) participa activamente como cofactor: la deshidrogenasa alcohólica, la anhidrasa carbónica y la dismutasa de superóxidos, estas aportan en el metabolismo de hormonas al regular el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano, Marquez (2021).

Ingesta recomendada

La ingesta diaria recomendada de zinc se enumera por género y grupo de edad en los bebés, niños, adolescentes, mujeres embarazadas y lactantes tienen un mayor riesgo de deficiencia de zinc. A pesar de ser un nutriente esencial, en elevadas concentraciones resulta fitotóxico.

De acuerdo con Guamán (2022) la clasificación de ingesta de Zinc es la siguiente:

Tabla 2

Ingesta recomendada de Zinc para humanos en diferentes etapas de desarrollo

Etapas	Edad	(mg/día)
Infancia	0-6 meses	2 (IA)
Infancia	7-12 meses	3
Niños	4-8 años	5
Niños	9-13 años	8
Adolescentes	14-18 años	11
Adultos	>19 años	11
Embarazo	>19 años	12
Lactancia	>19 años	13

Nota. Autores Cakmak, *et al.* (2021).

Zinc en plantas

Es un elemento necesario, tiene poca movilidad dentro de la planta, pero es fundamental para el desarrollo y crecimiento de las mismas. La funcionalidad de muchas enzimas dependen del Zinc para que las mismas puedan actuar, el Zn también está involucrado en metabolismo de las hormonas porque regula las auxinas a través de las síntesis del ácido triptófano, actúa en la producción de clorofila, síntesis de nucleótidos y pigmentos fotosintéticos, está considerado como un micronutriente ya que la planta necesita solo el 0.1% del peso seco del tejido, es decir de 15 a 20 miligramos por kilogramo del tejido seco, sin embargo la deficiencia genera infertilidad del polen afectando en si a los órganos reproductores de la planta, el Zn es fundamental en el metabolismo de la hormona vegetal AIA, Cakmak, *et al.* (2021).

Sulfato de zinc

Antiguamente era conocido con el nombre de vitriolo blanco, es totalmente soluble en agua, es un compuesto inorgánico, este fertilizante se utiliza como herbicida con mucha frecuencia en la agricultura y a la vez sirve para suministrar Zn y con ello; fortificar de alimentos, estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas, sintetizar proteínas, formar ácido indolacético, desarrollo de tejidos y clorofila, Amezcua, *et al.* (2017).

Fortificación de los alimentos

La fortificación de alimentos es un proceso por el cual se enriquece a los alimentos de forma artificial o con distintos métodos de cultivo, con el objetivo que el producto brinde una mejor nutrición para las personas. Al fortificar alimentos se puede controlar ciertos parámetros productivos tales como: la genética, accesibilidad a alimentos saludables, infecciones entre otros, Cakmak, *et al.* (2020).

Es una estrategia de salud que utilizan las productoras o fábricas de alimentos para beneficiar a los consumidores, pues al fortificar los alimentos se logra prevenir la deficiencia de vitaminas, proteínas o minerales del organismo. Con la fortificación de alimentos se logra la estabilización de los niveles de deficiencia de nutrientes, Crosta (2020).

Semillas

Proceso fisiológico

Los procesos fisiológicos de la semilla se dividen en 4 aspectos los cuales son: Imbibición de las semillas, activación enzimática, iniciación del crecimiento del embrión, ruptura de la cubierta de la semilla, por tanto, la imbibición de las semillas es el proceso mediante el cual se hunde las semillas en soluciones para incrementar las cantidades de agua en la semilla en un determinado tiempo, el proceso de imbibición está compuesto por 3 etapas; la primera por el contacto directo con el agua, la segunda fase es la absorción de los líquidos por la semilla, por último, emerge la protuberancia de la radícula, Pérez, *et al.* (2020).

La activación enzimática, muestra el proceso en el cual se mide la velocidad de reacción de la semilla con respecto a los químicos manejados, ya que de estos depende la actividad biológica el cual puede verse afectado debido a los cambios conformacionales, según el informe de Cardona (2020). Por consiguiente, el siguiente paso es la iniciación del crecimiento del embrión determinado, el cual está definido por las características de la parte terminal del tallo y de las ramas. La ruptura de la cubierta de la semilla se presenta cuando el embrión es tan

grande que el caparazón se rompe, generando una degradación enzimática de las estructuras dando inicio al proceso de crecimiento, Rodríguez, *et al.* (2021).

Activación de la semilla

Las semillas permanecen en estado de latencia hasta que las mismas se encuentren en condiciones adecuadas para la germinación, la activación consiste en dejar remojando las semillas en agua durante 24 horas para poder eliminar los inhibidores enzimáticos (moléculas), esto evita que se desencadene el proceso de germinación, las semillas tienen una cubierta llamada testa que muchas veces en el proceso de remojo estas se separan, la testa ayuda a proteger del medio ambiente a la semilla, a resistir temperaturas extremas de calor y frío, la semilla necesita varias fases para la activación: la primera absorción de agua, la segunda activación del metabolismo y proceso de respiración, movilización de sustancias de reserva y síntesis de proteínas, como menciona, Pita & Pérez (2017).

Vigor

El vigor y la germinación son variables importantes, por eso es importante implementar estos análisis, con el fin de obtener respuestas más precisas sobre la calidad de semillas en la parte fisiológica y física, con el vigor podemos determinar el nivel de actividad y respuesta durante el crecimiento y la germinación de los brotes bajo diferentes condiciones ambientales, Navarro, *et al.* (2015).

Prueba de germinación

Esta prueba determina la viabilidad de las semillas, esto se logra conociendo el porcentaje de semillas que tiene la capacidad de dar nuevas plántulas, bajo condiciones como; la luz, agua, aire y temperatura, López, *et al.* (2014).

Existe otra prueba de germinación bajo condiciones de laboratorio, también llamada “estándar en papel”, se evalúa la semilla bajo uno o varios tratamientos en condiciones controladas como; humedad, temperatura, luz con la finalidad de determinar el porcentaje de plántulas normales, López, *et al.* (2014).

Ácido fítico

Descripción

Es el comúnmente llamado ácido orgánico, el mismo que contiene fósforo y está presente en cereales y leguminosas como el fréjol. Este fósforo está en forma de fitato, el mismo que no está biodisponible en animales no rumiantes ya que estos carecen de enzima llamada fitasa, mismas que descomponen la estructura molecular del ácido fítico. El ácido fítico tiene una fuerte acción quelante o capacidad de atrapar cationes principalmente el hierro, zinc, calcio y magnesio, cuando uno de estos minerales llega a unirse con el ácido fítico se vuelve totalmente insoluble y al ser ingeridos no será absorbido por el intestino, dando paso a deficiencias de minerales en las personas, por ello es considerado como antinutriente, Mateos, *et al.* (2002).

Al ser insoluble el ácido fítico se caracteriza como antinutricional, la solubilidad de las sales de ácido fítico varía mucho con el pH, las sales del ácido fítico monovalentes he hidrogenadas son solubles en el agua, por otro lado las sales metálicas divalentes y trivalentes son más insolubles, en la molécula de fitatos hay grupos de fosfatos reactivos, esto hace que sea fuertemente quelante, lo cual hace que se una a los cationes (Ca, Mg, Fe, Zn), Máquez (2021).

En las plantas el 80% del fósforo se encuentra en forma de fitato, mismos que reducen la biodisponibilidad de los minerales. En las leguminosas encontramos el ácido fítico principalmente en cotiledones y ejes embrionarios, en cereales se encuentra en las aleuronas. El ácido fítico para unirse con las proteínas depende mucho del PH; en un PH neutro las moléculas de ácido fítico es muy quelante, López, *et al.* (2002).

Función del ácido fítico en plantas

El ácido fítico sirve principalmente como almacenamiento de fósforo en semillas, como fuente de energía y a la vez fuente de cationes como el *mio- inositol*, también sirve para defender a las semillas de predadores, la cantidad de AC varía en las semillas por varios

factores genéticos y cantidad de fósforo presente en las semillas, también está el metabolismo de los almidones por homeostasis del fósforo y participa en la señalización celular y desarrollo del AR, Raboy, *et al.* (2001).

Ácido indolacético

Es la auxina principal que proviene de plantas, esta hormona está involucrada en el desarrollo y crecimiento de las plantas, principalmente en los procesos fisiológicos como; control de la división y el alargamiento de las células, respuestas defensivas, fototropismo, formación del xilema y el floema, entre otros, además controla la diferenciación de tejidos y las respuestas de la luz llamado fototropismo, Vega, *et al.* (2016).

El AIA promueve el desarrollo de las raíces laterales y adventicias, está involucrado en el desarrollo de frutos y yemas axilares, este predomina en las células del ápice y en hojas jóvenes. La síntesis del AIA se puede dar por varias vías biosintéticas independientes, cuatro de estas parten del triptófano a través del ácido indol-3-pirúvico, Vega, *et al.* (2016).

Las plantas producen ácido indolacético a partir del triptófano a través del ácido indol-3-pirúvico y a través de la indol-3-acetaldoxima en *Arabidopsis thaliana*, Raboy, *et al.* (2001).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio

El proyecto se realizó en el laboratorio de fisiología vegetal y principios activos de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1 localizado en la Hacienda El Prado, parroquia San Fernando, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. El sitio se encuentra a una latitud: 0°, 23', 20" S de longitud: 78°, 24', 44" O y altitud de 2748 m.s.n.m.

La temperatura media anual es 13,96 °C y la precipitación anual de 1332 mm y la humedad relativa es de 41,19 %, según Arce & Pozo (2015).

Figura 1

Ubicación geográfica del laboratorio de fisiología vegetal y principios activos



Nota. Esta figura muestra la ubicación del laboratorio de fisiología vegetal y principios activos de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, Autor Google Earth, (2021).

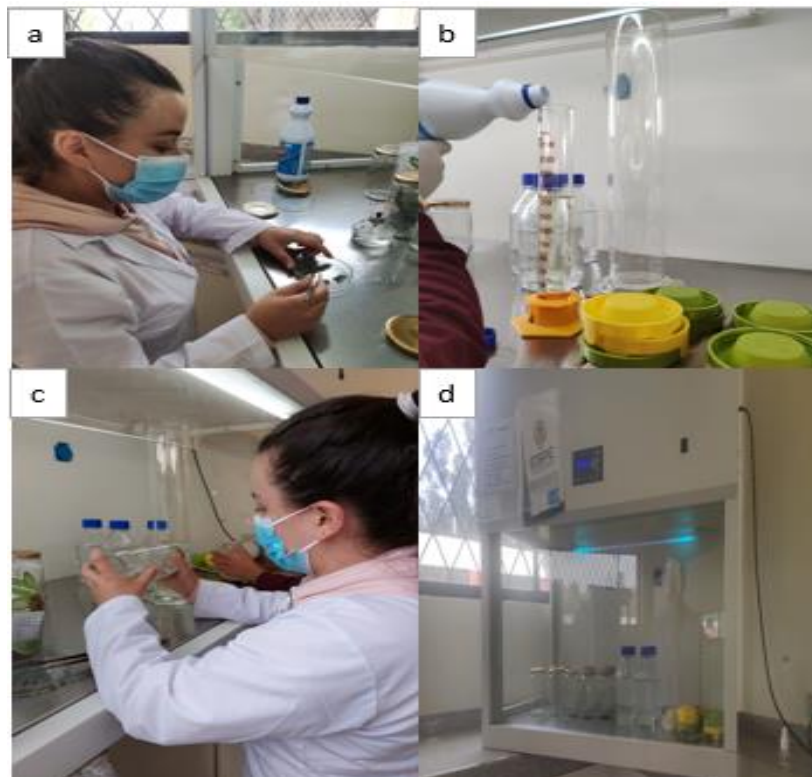
Preparación de semillas

Para este ensayo se utilizaron 2250 semillas de frijol mungo con certificación orgánica en la empresa Camari. Las semillas fueron desinfectadas sumergiendo en una solución de hipoclorito de sodio (0,8%) durante 2 minutos. Para eliminarlo de la testa, las semillas se

enjuagaron con agua destilada y estéril tres veces, la primera vez durante un 1 min, la segunda por 40 segundos y la tercera por 20 segundos, Jribi, *et al.* (2019). Las semillas se hidrataron, para lo cual se llevaron a inmersión en agua esterilizada durante 24 horas y luego se escurrieron.

Figura 2

Desinfección de semillas de Frijol mungo en el laboratorio de nutrición vegetal

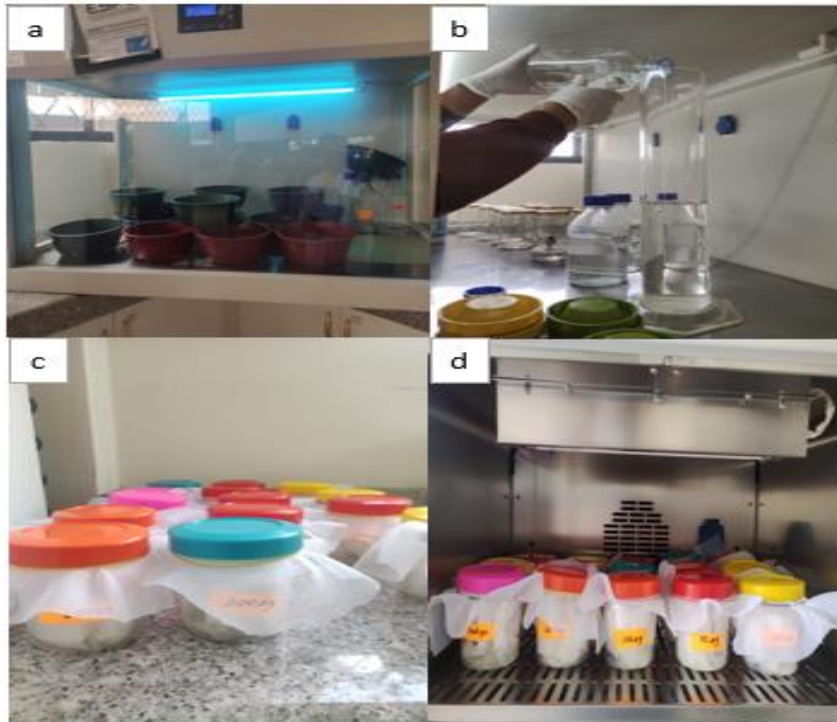


Nota. a) Conteo de semillas b) Dilución del HClO al 0.8% c) Desinfección de semillas d) Hidratación de semillas. Autoría propia.

La unidad experimental fue un frasco de germinación de 200 ml, con 150 semillas y en total se utilizaron 15 unidades experimentales. Para esterilizar los recipientes y fueron remojados en hipoclorito de sodio (8%) por 5 horas, se colocaron en toallas estériles y se llevaron a la cámara de flujo laminar con luz ultravioleta durante 30 min, Salvatierra (2022).

Figura 3

Preparación de semillas de *Vigna radiata*



Nota. a) Desinfección de frascos y recipientes b) Preparación de la solución madre c) Colocación de semillas en frascos con toallas de cocina d) Colación de frascos en la incubadora a 20 °C. Autoría propia.

Se realizó una solución madre, a una concentración de 1000 mg. L⁻¹ de zinc como $ZnSO_4 \cdot H_2O$, para diluir en las diferentes dosis (Tabla 3).

Tabla 3

Descripción de los tratamientos para la presente investigación

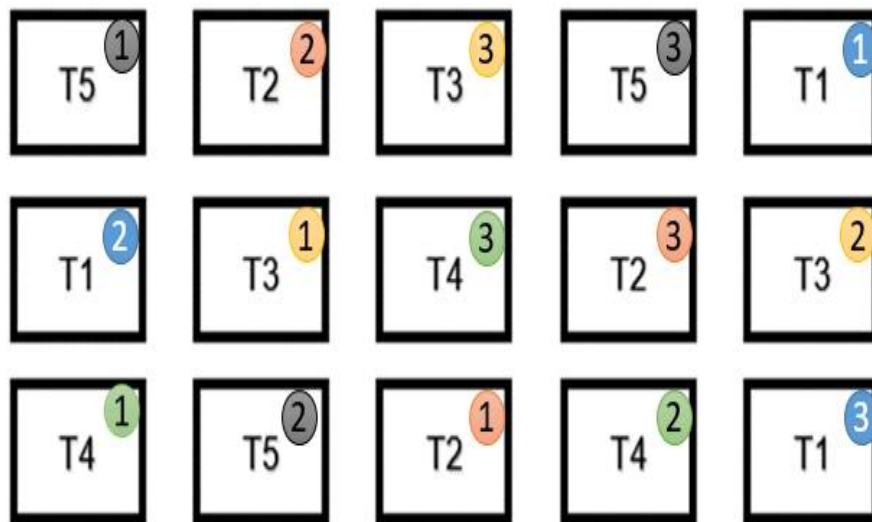
Tratamiento	Dosis Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)
T1	0
T2	75
T3	150
T4	225
T5	300

Nota. Autor Salvatierra (2022).

Las semillas fueron sumergidas en las diferentes concentraciones de forma aleatoria. Para la dosis 0 $\mu\text{g. ml}^{-1}$ de zinc las semillas fueron sumergidas en agua destilada estéril (ADE). El experimento se dispuso bajo un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. La disposición del experimento en el laboratorio se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Disposición de tratamientos en germinados de Frijol mungo



Nota. Muestra la disposición del experimento en el campo, T1= Zn 0 $\mu\text{g. ml}^{-1}$, T2= Zn 25 $\mu\text{g. ml}^{-1}$, T3= Zn 75 $\mu\text{g. ml}^{-1}$, T4= Zn 125 $\mu\text{g. ml}^{-1}$, T5= Zn 175 $\mu\text{g. ml}^{-1}$. Autoría propia.

Los frascos se colocaron dentro de una incubadora BIOBASE a 20°C en total oscuridad durante ocho días. Cada día fueron asperjadas para compensar la pérdida de agua por evaporación, Salas, *et al.* (2018).

Análisis estadístico

Las variables agronómicas y fisiológicas se caracterizaron mediante estadística descriptiva (desviación estándar y media). Para comparar cada variable obtenida entre tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANAVA), el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

u = media general

Z_i = efecto de la i -ésima concentración de Zn

ϵ_{ij} = Error experimental

Se realizó una prueba de comparación de medias de Duncan al 5 %, los análisis se realizaron con el programa matemático INFOSTAT, según Di Rienzo, *et al.* (2020).

Variables a evaluar

Se evaluaron cinco variables agronómicas (el porcentaje de germinación, longitud de la plúmula y longitud de radícula), se evaluaron cinco variables fisiológicas (materia seca, contenido de ácido fítico, relación molar AF: Zn y contenido de ácido indolacético).

Para determinar si existe relación entre la concentración de zinc en los germinados con la concentración de Ácido fítico, se realizó un análisis de regresión lineal simple.

Evaluación del porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se evaluó el octavo día y se aplicó con la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas}}{\text{N}^\circ \text{ total de semillas}} * 100$$

Se consideró una semilla germinada cuando se observó el brote de la radícula, según lo citado en el informe de López *et al.* (2014).

Evaluación de la longitud de plúmula y radícula

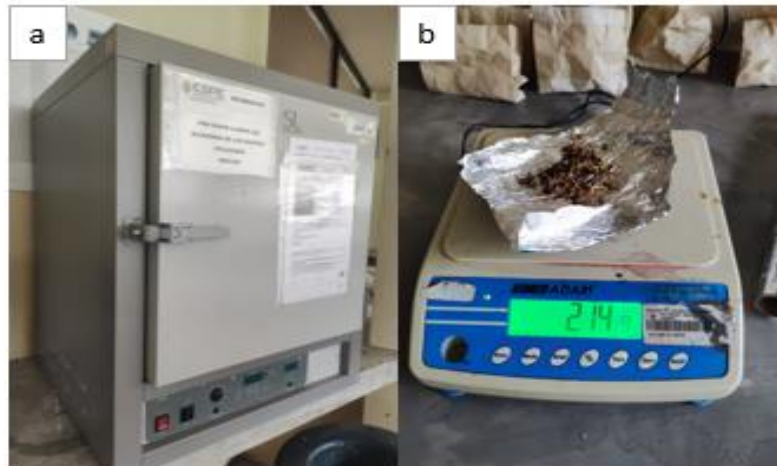
La longitud de la plúmula (desde el hipocótilo hasta las primeras hojas verdaderas) y la longitud de la radícula (desde el hipocótilo hasta el final de la radícula), se midió después de ocho días que se aplicaron los tratamientos, y se ingresó al software ImagenJ, el cual dio una medición más exacta del germinado.

Evaluación de la materia seca

Para medir la materia seca (MS), se seleccionaron 20 semillas de cada unidad experimental. Posteriormente las semillas fueron pesadas y luego se colocaron dentro de bolsas de papel. Se secaron dentro de la estufa por 24 h a 70°C y se midió el peso seco.

Figura 5

Evaluación de materia seca en germinados de frijol mungo



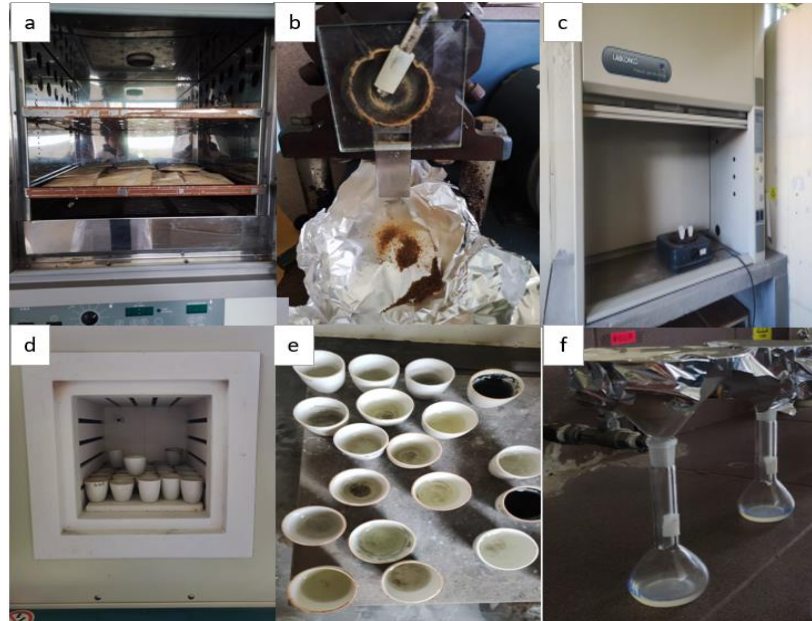
Nota. a) Estufa; b) Peso de materia seca. Autoría propia.

Evaluación del contenido de zinc

Se evaluó el contenido de Zinc, se seleccionaron 20 semillas por cada unidad experimental las mismas que fueron colocadas en bolsas de papel y se secaron en la estufa. Las semillas se trituraron en un molino ultracentrífugo ZM 200 Retsch; luego se tomaron 5 g de la muestra molida y se colocaron en un recipiente de cerámica para su calcinación a 600 °C durante 3 horas para la obtención de cenizas. Luego se agregó 2ml de agua destilada y 10 ml de ácido clorhídrico 2 M, hasta que burbujee la mezcla. Se dejó enfriar y se filtró con papel Whatman número 1 en matraces de 50 ml, se aforó con agua desionizada y el contenido de Zinc se determinó por espectrometría de absorción atómica.

Figura 6

Evaluación del contenido de zinc, con diferentes dosis para frijol mungo.



Nota. a) Calcinación de germinados; b) Trituración de semillas de frijol mungo; c) Cámara extractora de gases y estufa; d) Cámara para obtención de cenizas; e) Colocación de ácido clorhídrico y agua destilada; f) Filtrado de muestras. Autoría propia.

Evaluación del contenido de ácido fítico

Para evaluar el contenido de ácido fítico en los germinados, se tomaron 50 semillas por unidad experimental las cuales fueron colocadas en papel de aluminio y fueron ingresadas en la bandeja y liofilizadas por 18 horas para tomar 2 gr de las mismas y mezclarlas con 50 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 2%. La solución se colocó en matraces de 125 ml y se incubó (agitador SHELL LAB orbital) durante 3 horas con una temperatura de 20 ° C y 100 Rpm. El contenido se filtró con papel Whatman número 1 por 24 horas, el filtrado se mezcló con 2,5 ml de Amonio Sulfucianuro NH_4SCN al 0,3%, la mezcla se aforó con de agua destilada. La titulación con cloruro férrico FeCl_3 se hizo a una concentración de 1,95 mg.ml⁻¹, posteriormente las dos soluciones se mezclaron hasta obtener una coloración más intensa (amarillo parduzco).

Figura 7

Evaluación de ácido fítico en Vigna radiata expuestas con diferentes dosis de Zn



Nota. a) Germinados de frijol mungo; b) Criocongelador DAIRI modelo UPUL58; c) Muestras pesadas y colocadas en papel de aluminio; d) Liofilizador; e) Ácido clorhídrico f) Agitador SHELL LAB orbital; g) Muestras filtradas en papel Whatman número 1; h) Muestras aforadas; i) Titulación de las muestras. Autoría propia.

La concentración de ácido fítico se estimó con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Fitato de fósforo} \left(\frac{mg}{100g} \right) = \text{Valor de titulación} * 1,95$$

$$\text{Ácido fítico} \left(\frac{mg}{100g} \right) = \text{Fitato de fósforo} * 3,55$$

Evaluación de la biodisponibilidad del zinc

La biodisponibilidad del zinc se estimó mediante la relación molar ácido fítico: Zinc, con la ecuación de Wei, Shohag, & Wang (2012).

$$AF: Zn = \frac{mmol AF}{mmol Zn}$$

El resultado de esta operación será relacionado con los porcentajes de biodisponibilidad (Tabla 4).

Tabla 4

Relación molar (AF:Zn)

Relación molar (AF:Zn)	Biodisponibilidad Zinc (%)
<5	>50%
5-15	30%
15-30	15%
>30	10%

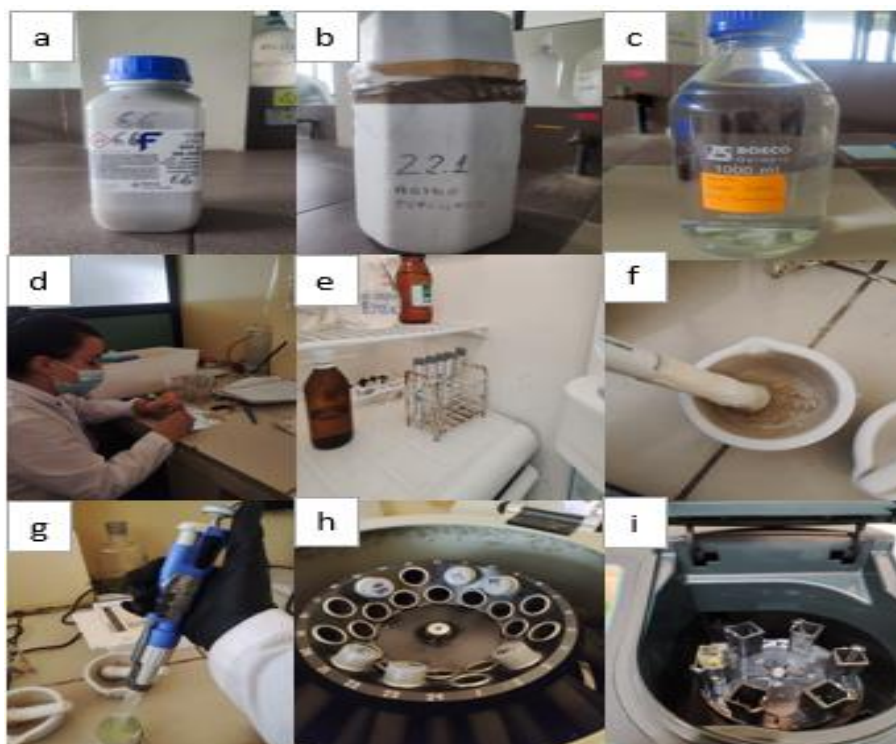
Nota. Autor (Salvatierra , 2022).

Evaluación de la concentración de Ácido Indol acético (AIA)

Para medir la concentración de AIA se preparó el reactivo de Salkowski a 0.5M de cloruro de hierro (FeCl_3), 24.5 ml de agua y 24.5 ml de ácido perclórico. Se tomaron cinco germinados de frijol mungo de por unidad experimental los cuales fueron picados y colocados en tubos de ensayo con acetona al 80% (80 ml de acetona y 20 ml de agua destilada), mismo que fueron cubiertos con papel aluminio. La solución se dejó en refrigeración 4°C por 24 horas. Luego se tomó las raíces y se maceró; el líquido de las raíces se filtró y colocó en un vaso de precipitación. Posteriormente las muestras se transfirieron a un tubo de ensayo con 3 ml de reactivo de Salkowski y se centrifugó a 500 RPM por cinco minutos. Finalmente, el contenido de AIA se determinó con el espectrofotómetro (spectro Flex6600) a 549 nm.

Figura 8

Medición de la concentración de AIA en *Vigna radiata* expuestas con diferentes dosis de zinc



Nota. a) Cloruro de hierro b) Ácido perclórico c) Agua destilada d) Trituración de raíces de Frijol mungo e) Refrigeración de la solución f) Macerado de raíces g) Reactivo de Salkowski c) Centrifugadora i) Espectrofotómetro. Autoría propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

VARIABLES AGRONÓMICAS

Porcentaje de germinación

Para el porcentaje de germinación se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{4,10}=15,19$; $p = 0,0001$).

Tabla 5

Porcentaje de germinación en frijol mungo. Tratados con 4 dosis diferentes de Zn

Tratamientos	Dosis Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Porcentaje de germinación (%)	p - valor
T0	0	$86,89 \pm 1,02$ c	0,0001
T1	75	$86,56 \pm 0,77$ b	
T2	150	$86,00 \pm 0,67$ c	
T3	225	$92,67 \pm 1,33$ a	
T4	300	$85,78 \pm 2,14$ c	

Nota. Medias con letras diferentes, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$), Zn fue suplementado con ZnSO₄. Autoría propia.

El T3 ($225 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de Zn), obtuvo el mejor porcentaje de germinación $92,67\% \pm 1,33$, seguido del tratamiento T1 ($75 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de Zn), con $86,56 \pm 0,7$, tratamiento T2 ($150 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de Zn), con $86,00 \pm 0,67$ y el tratamiento T4 ($300 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de Zn), con $85,78 \pm 2,14$ respectivamente.

Longitud de plúmula y radícula

Con el programa Image J se midió la longitud de radícula ($F_{4,10} = 3,49$; $p < 0,05$) y de plúmula ($F_{4,10} = 40,78$; $p < 0,0001$) donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos durante el desarrollo del germinado.

Tabla 6

Promedio ± desviación estándar, de la longitud de radícula y plúmula en germinados de frijol mungo, tratados con 4 dosis diferentes de zinc.

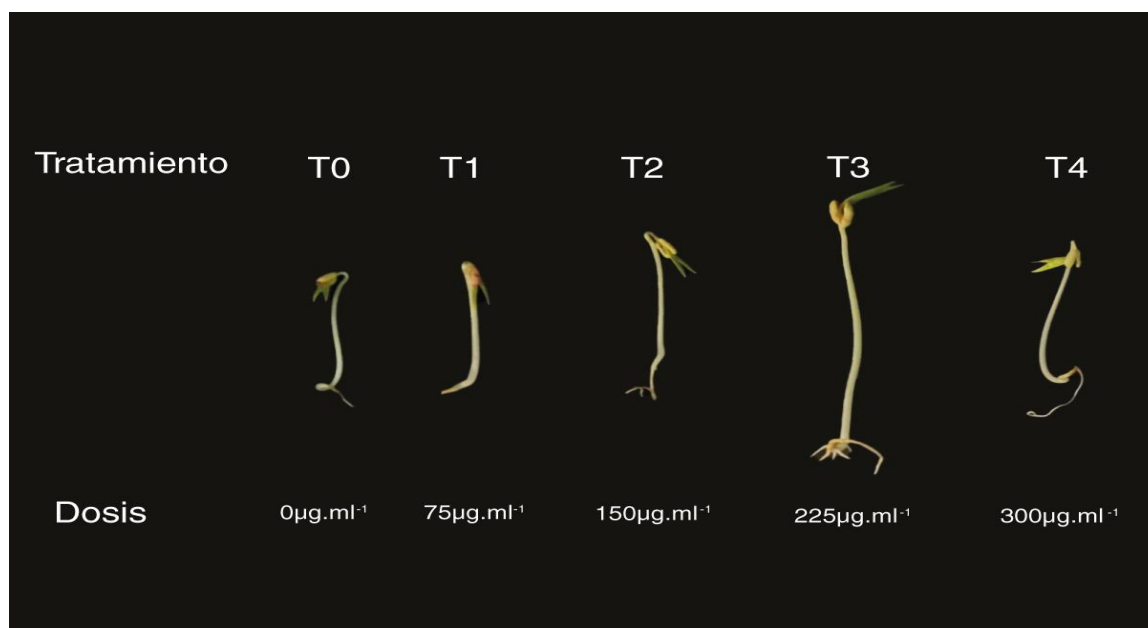
Tratamientos	Dosis Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Largo de radícula (cm)	p-valor	Largo de plúmula (cm)	p-valor
T0	0	4,11 ± 0,84 ab		5,57 ± 0,40 d	
T1	75	3,33 ± 0,71 b		6,40 ± 0,17 c	
T2	150	4,07 ± 1,00 ab	0,0356	7,23 ± 0,38 b	<0,0001
T3	225	5,77 ± 0,99 a		9,07 ± 0,58 a	
T4	300	2,73 ± 1,55 b		7,93 ± 0,06 b	

Nota. Medias con letras diferentes, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$), Zn fue suplementado con ZnSO₄. Autoría propia.

El T3 ($225 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de zinc) presentó mayor largo de radícula $5,77 \pm 0,99$ y de plúmula $9,07 \pm 0,58$.

Figura 9

Germinados de frijol mungo con diferentes dosis de zinc



Nota. Autoría propia

El tratamiento T3 ($225 \mu\text{g. ml}^{-1}$), fue el que mayor crecimiento obtuvo en el largo de plúmula y radícula.

VARIABLES FISIOLÓGICAS

Materia seca

El análisis de varianza para la materia seca, muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{4,10} = 71,65$; $p \leq 0,05$).

Tabla 7

Promedio \pm desviación estándar del peso húmedo y seco de los germinados de frijol mungo tratados con diferentes cantidades de zinc

Tratamientos	Dosis Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Materia seca (gr)	p-valor
T0	0	1,79 \pm 0,09 d	
T1	75	2,42 \pm 0,06 c	
T2	150	2,64 \pm 0,12 b	<0,0001
T3	225	3,10 \pm 0,05 a	
T4	300	2,55 \pm 0,13 bc	

Nota. Medias con letras diferentes, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$), Zn fue suplementado con ZnSO₄. Autoría propia.

Los germinados enriquecidos con T1 ($75 \mu\text{g. ml}^{-1}$), T3 ($225 \mu\text{g. ml}^{-1}$), y T4 ($300 \mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc presentaron los valores más altos en peso seco. Zn fue suplementado con ZnSO₄.

Relación molar AF: Zn

Existen diferencias significativas para la concentración total de zinc ($F_{4,10}=28,57$; $p<0,05$), concentración de ácido fítico ($F_{4,10}=25,93$; $p<0,05$) y relación AF: Zn ($F_{4,10}=38,17$; $p<0,05$).

Tabla 8

Promedio y desviación estándar del contenido de ácido fítico y zinc y relación molar AF: Zn de los germinados de frijol mungo tratados con 4 diferentes dosis de zinc

Tratamientos	Cantidad Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Dosis total de zinc en germinados (mg. Kg^{-1})	p-valor	Concentración de ácido fítico (mg. Kg^{-1})	p-valor	AF:Zn
T0	0	$37,18 \pm 2,20$ d		$15,23 \pm 1,20$ a		$0,41 \pm 0,05$ a
T1	75	$45,69 \pm 1,27$ c		$14,08 \pm 1,44$ ab		$0,30 \pm 0,03$ b
T2	150	$46,88 \pm 3,64$ bc	<0,0001	$12,46 \pm 0,69$ bc	<0,0001	$0,25 \pm 0,03$ bc
T3	225	$59,09 \pm 0,58$ a		$7,15 \pm 0,80$ d		$0,12 \pm 0,01$ c
T4	300	$51,47 \pm 3,72$ b		$10,85 \pm 1,06$ c		$0,21 \pm 0,01$ d

Nota. Medias en la misma columna con letras diferentes, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$), Zn fue suplementado con ZnSO_4 . Autoría propia.

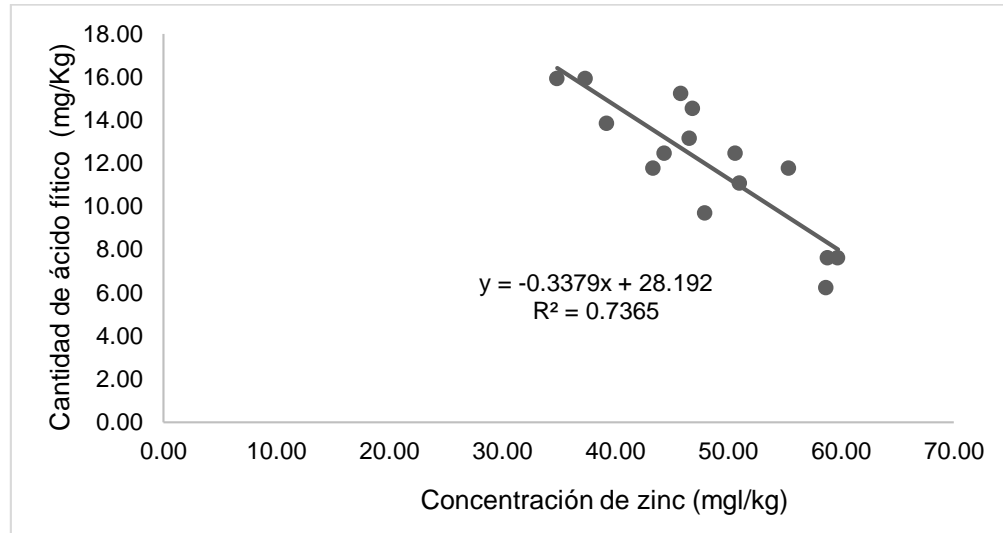
Los germinados enriquecidos con (T3) $225 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de zinc presentaron mayor concentración total de zinc ($59,09 \pm 0,58 \text{ mg. kg}^{-1}$), a diferencia del resto de tratamientos ; Para el ácido fítico los germinados con (T0) $0 \mu\text{g. ml}^{-1}$ de zinc presentaron mayor concentración de ácido fítico. Al analizar la biodisponibilidad del Zn (Tabla 4), en todos los tratamientos fue mayor al 50% en todos los tratamientos, por lo tanto, la relación AF: Zn no afecta la biodisponibilidad de este elemento.

Regresión de ácido fítico y la biodisponibilidad el zinc

La concentración de zinc y de ácido fítico en los germinados de frijol mungo se relaciona mediante el siguiente modelo matemático de regresión lineal simple: $\text{Ácido fítico} = -0,3379$ (concentración de zinc) + $28,192 + e$ ($F_{1,13} = 36,34$; $p \leq 0,05$; $R^2 = 0,74$; $\text{CpMallows} = 36,34$; $\text{ERBO} = 0,097$). La relación entre las dos variables es inversa, por lo tanto, si hay mayor la biodisponibilidad de zinc disminuirá el ácido fítico (Figura 10).

Figura 10

Análisis de regresión lineal simple entre la biodisponibilidad de zinc y la concentración de ácido fítico



Nota. Regresión lineal cantidad de ácido fítico vs concentración de Zn. Autoría propia.

Ácido indolacético

Para la concentración de AIA se determinó diferencias significativas ($F_{4,10}=5,93$; $p=0,0052$).

Tabla 9

Promedio y desviación estándar de la concentración de ácido indolacético de los germinados de frijol mungo enriquecidos con diferentes cantidades de zinc

Tratamientos	Cantidad Zn ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Concentración de ácido indolacético ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	p-valor
T0	0	$1,62 \pm 1,31$ bc	0,005
T1	75	$1,88 \pm 0,53$ bc	
T2	150	$2,31 \pm 0,08$ ab	
T3	225	$3,42 \pm 0,63$ a	
T4	300	$0,77 \pm 0,09$ c	

Nota. Medias en la misma columna con letras diferentes, difieren estadísticamente (Duncan, $p \leq 0,05$), Zn fue suplementado con ZnSO_4 . Autoría propia.

Los germinados de frijol mungo enriquecidos con T3 ($225 \mu\text{m} \cdot \text{L}^{-1}$) presentaron mayor concentración de ácido indolacético que el resto de tratamientos (Tabla 9).

Discusión

El Zn es un oligoelemento importante en la nutrición humana, porque interviene en los procesos biológicos como el crecimiento, desarrollo de estructuras mentales y disminuye la presencia de infecciones.”, Romero, *et al.* (2020). Además, el 83% del zinc se encuentra en músculos y huesos a nivel intracelular. No existe un lugar anatómico específico que funcione como reserva de zinc y por ende no hay reservas convencionales en tejidos que puedan ser liberadas o almacenadas en respuesta a variaciones en la dieta. López, *et al.* (2010).

Es por tanto que, en base al trabajo de López de Romaña, *et al.* (2022), establecen que, dada la ausencia de un órgano específico de almacenamiento de Zinc, es preciso que se mantenga una dieta que provea al cuerpo humano de este oligoelemento. Las leguminosas, aunque son una fuente frecuente de alimentos, no contienen un nivel suficiente de biodisponibilidad en zinc, “El zinc procedente de los alimentos vegetales es de menor biodisponibilidad debido a la presencia de ácido fítico que forma complejos insolubles poco absorbibles.” Rubio, *et al.* (2007).

Dadas estas premisas, se realizaron tratamientos con diferentes dosis de zinc en germinados de frijol mungo, los cuales, arrojaron una serie de resultados, permitiendo determinar la dosis óptima a emplear en tratamientos de germinación de frijol mungo para aumentar el contenido nutricional. En este trabajo se ha incrementado los valores fisiológicos de los mismos, encontrándose entre estos, la biodisponibilidad y contenido de AIA de zinc en los germinados de *Vigna Radiata*.

Los valores arrojados por cada uno de los resultados, evidenciaron cuantitativamente que los germinados tratados con Zn presentaron mejores aspectos productivos y hasta cierto grado, beneficia a la fisiología de los germinados, y mejora su porcentaje de germinación.

En primera instancia, se ha demostrado la relación que existe entre las dosis de zinc y el proceso de germinado, siendo que, a partir la dosis de $75\mu g. ml^{-1}$ de Zn, que corresponde al primer tratamiento (T1), se detectó un incremento del porcentaje de germinación, llegando a un máximo cuando se suministraron en T3 ($225\mu g. ml^{-1}$) de Zn, en donde se alcanza un porcentaje de germinación de $(92,67 \pm 1,33)\%$, se observó una disminución en el porcentaje de germinación a la dosis de $300\mu g. ml^{-1}$ de Zn en el tratamiento T4, lo cual, sugiere, que las cantidades de Zinc presentes en cada tratamiento, tienen un valor cuantitativo definido, el cual, garantiza la maximización del porcentaje de germinado, en donde, tanto el déficit como el exceso de Zinc perjudican las tasas de germinación.

En lo inherente a las longitudes arrojadas por las mediciones de plúmula y radícula, se observa en concordancia con los valores obtenidos en los resultados de porcentaje de germinación, pudiendo determinarse que desde el tratamiento T0 ($0 \mu g. ml^{-1}$) al tratamiento T3 ($225 \mu g. ml^{-1}$), las muestras aumentaron su longitud, llegando a obtener la mejor longitud dosis de Zinc de un valor igual o aproximado a $225\mu g. ml^{-1}$, siendo las máximas longitudes, $(5,77 \pm 0,99)cm$ y $(9,07 \pm 0,58)cm$, radícula y plúmula respectivamente, a partir de este punto estas variables empiezan a disminuir con el incremento de dosis del Zn T4 ($300 \mu g. ml^{-1}$).

Con respecto a la materia seca, los germinados de frijol mungo del T3 ($225\mu g. ml^{-1}$), presentaron un mayor peso $(3,10 \pm 0,05)g$, seguido por el tratamiento T1 y T4 ($2,64 \pm 0,12)g$ y $(2,55 \pm 0,13)g$, respectivamente.

Adicionalmente, se ha observado, en la relación al ácido fítico y el zinc, que las concentraciones de ambas sustancias son inversamente proporcionales. En los resultados obtenidos, en donde, se divisó un crecimiento en las cantidades de Zinc, implicó la disminución en la concentración del ácido fítico, siendo el punto crítico de ambas variables el tercer tratamiento, en donde la concentración de Zinc fue de $(59,09 \pm 0,58)mg. kg^{-1}$, y de ácido fítico

una concentración de $(7,15 \pm 0,80)mg.kg^{-1}$. Este comportamiento inversamente proporcional, se encuentra en concordancia con lo expuesto por Rubio et al, anteriormente citado.

Ahora bien, el comportamiento inversamente proporcional de las concentraciones del ácido fítico y el zinc, dan origen a lo que sería la relación molar entre estos, “se ha sugerido la razón molar AF:Zn como indicador de la biodisponibilidad del Zn, y así valores de la misma mayores de 20 supondrán una disminución de la absorción de este mineral”. Aquino, *et al.* (2021).

Encontrándose que, en los resultados arrojados, la biodisponibilidad de Zinc en todos los casos es mayor al 50%, sin embargo, es preciso mencionar, que, dada la expresión matemática inherente al cálculo de la relación molar y el zinc, en donde, se tiene a este último como denominador de la función racional, se conoce que a una menor relación entre el ácido fítico y el oligoelemento en mención.

Los argumentos previos, son evidencia del comportamiento opuesto de crecimiento y decrecimiento tanto del zinc como del ácido fítico presentes en el frijol mungo sometido a tratamiento, pudiendo reiterarse, además, que el T3 ($225\mu g.ml^{-1}$),, obtuvo la mayor tasa de zinc y en concordancia, una menor relación molar AF/Zn.

Finalmente, en cuanto al ácido indolacético, una auxina natural, la concentración incrementa hasta T3 ($225\mu g.ml^{-1}$), explicando así, la razón por la cual, se obtuvieron mediciones de mayor magnitud en lo inherente a las radículas y plúmulas, confirmando que “el rendimiento y contenido mineral de los germinados fue afectado significativamente por la aplicación de Zn” Morales, *et al.* (2016), y culminando de solidificar la hipótesis alternativa presentada en el presente trabajo de investigación científica, cuyo fundamento es la necesidad de incrementar la biodisponibilidad de Zinc en germinados, para de esta forma, optimizar la nutrición humana través del consumo masivo de los mismos.

Esto evidencia, que el Zinc representa uno de los elementos nutricionales de mayor importancia en la semilla de las plantas. En el caso de determinarse un déficit de este elemento, bien sea en cultivos específicos o suelos, repercutirá negativamente, haciendo necesaria la implementación

del control de suelos para mantener un monitoreo constante de los niveles de este nutriente, Cakmak, *et al.* (2020).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Al evaluar el efecto de cuatro dosis de zinc (0, 75, 150, 225, 300 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) se logró incidir positivamente sobre el parámetro de germinación y contenido de zinc con las dosis del T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$), respecto a los germinados no tratados, por lo tanto, se obtuvo un alimento con potencial para la fortificación.
- La dosis de T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, obtuvo mayor valor en masa seca, con una media de $3,10 \pm 0,05$ g; a diferencia de T0 (0 $\mu\text{g. ml}^{-1}$), T1 (75 $\mu\text{g. ml}^{-1}$), T2 (150 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) y T4 (300 $\mu\text{g. ml}^{-1}$).
- El efecto de las dosis de zinc sobre parámetros de longitud de radícula y plúmula, se evidenció que la fijación demostró que promovió el desarrollo de los germinados, en cuanto la longitud de radícula, se consiguió que los germinados enriquecidos con T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, obtuvieran mayor efectividad que el resto de tratamientos, con una media de $5,77 \pm 0,99$ cm, para la longitud de la radícula, se observó que los germinados del T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, obtuvieron mejores valores con respecto al resto de tratamientos, con una media de $9,07 \pm 0,58$ cm.
- La evaluación de la concentración de ácido indolacético T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, registró mayor concentración con $3,42 \pm 0,63$ $\mu\text{g. ml}^{-1}$.
- Una vez evaluada la concentración total de zinc se consiguió obtener una fijación de $59,09 \pm 0,58$ mg. Kg^{-1} de zinc en el T3 (225 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) y una relación molar AF:Zn <5 en todos los tratamientos, por lo tanto se obtuvo una biodisponibilidad superior al 50 % de zinc.
- Las semillas sumergidas en la solución T4 (300 $\mu\text{g. ml}^{-1}$) de zinc, presentaron los parámetros productivos y fisiológicos más bajos, excepto en el ácido fítico; evidenciando señales de toxicidad por altas concentraciones de zinc.

- Para la concentración de ácido fítico, en los germinados sin tratar T0 ($0 \mu g. ml^{-1}$), se observó la mayor concentración con una media de $15,23 \pm 1,20 mg.kg^{-1}$, se halló una relación entre cantidad ácido fítico y la concentración de zinc, en la cual, la cantidad de ácido fítico en los germinados disminuye en $0,338 mg.kg^{-1}$ por cada valor en concentración de zinc. La concentración de zinc decae conforme incrementa la cantidad de ácido fítico en germinados de frijol mungo.

Recomendaciones

- Se recomienda que el método de fortificación en semillas con zinc, ya que se logra fijar este elemento sin afectar las variables agronómicas y fisiológicas.
- Se recomienda aumentar utilizar otras dosis de zinc en futuras evaluaciones para observar la reacción de las semillas.
- Se recomienda biofortificar con zinc en otros germinados de semillas de otras leguminosas y cereales para observar si los resultados son similares a los de este estudio.
- Se recomienda fomentar más estudios en germinados de otras especies de leguminosas, ya que contiene proteína y pueden disminuir la desnutrición infantil crónica en el Ecuador.
- Se recomienda difundir con productores germinados de semillas la importancia del Zinc.
- Se recomienda aumentar repeticiones para tener datos más cercanos a la realidad, porque entre más pequeños sean los grados de libertad, existe más variabilidad en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguero, J. (2002). *Bases Nutricionales del cultivo de furtilla (Fragaria ananassa Duch)*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2012aguerojuanjose.pdf>
- Amenzcua, D., Fischer, W., & Weber, B. (2017). zinc in plants. *revistaciencia*, 68(1), 5-6. Obtenido de <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/>
- Ángeles, C., Hernández, J., & Abaul, M. (2010). *Determinación de la densidad real y porosidad del suelo*. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá. Obtenido de <https://es.slideshare.net/kryzdfragg/densidad-real-y-aparente>
- Aquino, D., Brito, E. & Encalada, A. (2021). Physicochemical characterization and functional potential of phaseolus vulgaris L. and phaseolus coccineus L. Landrace green beans. *Agronomy*, 4 (1), 3-6. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/803>
- Arizona, U. (2013). *Hydroponic strawberry irrigation*. Irrigation. Obtenido de https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic_Strawberry_Information_Website/Irrigation.html
- Bada, L., López, A. & Sanchez, F. (2007). Interaction of calcium- phytate-zinc in yogurth and cereal. *Interciencia*, 2(1), 3-25. Obtenido de <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/05/242-6131-OJEDA-43-04.pdf>
- Bañados, M., Bonomelli, C., Figueroa, R., Gambardella, M., Zaviezo, T., Ávila, B. & Grez, J. (2015). *Manual of Cultivation of Raspberries in Chile*. INDAP. Obtenido de https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-de-cultivo-de-frutilla-en-chile_indap-puc-2015.pdf?sfvrsn=0

- Broadley, A., Aguiar, P. & Torres, J. (2012). Zinc metalloenzymes in plants. *Inverciencia*, 2(1), 23-31. Obtenido de <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/05/242-6131-OJEDA-43-04.pdf>
- Cakmak, B., Chavez, A. & Castillo, P. (2012). *Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3), 482-488. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/15222624/2012/175/3>
- Cardona, F. (2020). Enzymes - introduction to enzymes. *RiuNet*, 2(1), 22-25. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/146362>
- Carter, D. (1981). Salinity and Plant Productivity. *Nature*, 1(1), 2-5. Obtenido de <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/757/1/419.pdf>
- Castillo et al. (2018). Zinc in plants. *Revista de ciencia y tecnología de América*, 5(1), 242-248. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6401071>
- Chaquilla, G., Balandrán, R., Mendoza, A., & Mercado, J. (2018). Properties and application possibilities of wheat bran proteins. *Ciencia UAT*, 12(1), 1. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582018000100137&script=sci_abstract&tlng=en
- Chiqui, F., & Lema, M. (2010). *Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (Fragaria sp.) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica Salesiana, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4745/1/UPS-CT001855.pdf>
- Crosta, F. (2020). Exploring the health effects. *Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*, 5(1), 1. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121674>
- Di, A. (2020). *InfoStat: software estadístico*. Infostad. Obtenido de <https://www.infostat.com.ar/>

- Díaz et al. (2022). Genetic Correlation Between Fe and Zn Biofortification and Yield Components in a Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legumes for Global Food Security*, 3(1), 54-63. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.739033/full>
- Guamán, A. Sánchez, P. & Andrade, T. (2020). Adaptability of four varieties of beans in the Luz. *Siembra*, 23(1), 5-8. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34526>
- Hernández, L. (2019). Effect of zinc. *Ciencias del suelo DCS-UFLA*, 23(5), 14. Obtenido de http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/36578/2/TESE_Efecto%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20con%20zinc%20en%20la%20fijaci%C3%B3n%20biol%C3%B3gica%20de%20nitr%C3%B3geno%20en%20leguminosas.pdf
- Heuzé, V., Tran, G., Bastianelli, D., & Lebas, F. (2015). Mung bean (*Vigna Radiata*) in plants. *Agritrop*, 7(2), 5-8. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/739/1/012078/meta>
- Hirzel, J. (2017). Strawberry fertilization in plants. *Agritrop*, 4(1), 22-25. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39088.pdf>
- Intriago, L. (2021). Effect of with zinc on the germination and vigor (*Zea mays* L.) var. *Bandit*. 6(1), 32. Obtenido de http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26766/1/T-IASA_I-004407.pdf
- Jackson, W. (1993). Humic, fulvic and microbial balance: Organic Soil Conditioning. *Agricultural Text and Reference Book*, 3(1), 2-5. Obtenido de <https://static1.squarespace.com/static/522f74d8e4b0b503a9bec003/t/601d600de1ad967e5f237205/1612537873170/oscsynopsis.pdf>
- Jribi, M., Paez, A. & Pico, R. (2019). Zinc fortification as a tool for improving sprout hygienic and nutritional quality: a factorial design approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 5(1), 2-5. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31032927/>

- Lopez, W. Ojeda, D. & Hernández, I. (2002). Minerals and phytic acid interactions: Is it a real problem for human nutrition?. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 727-739. Obtenido de [https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.006](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.006)
- Marical, R., Chuck, C., de Dios, J., & Serna, S. (2021). Physicochemical and nutritional evaluation of bread incorporated with ayocote bean. *Processes*, 8(1), 1. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/10/1782>
- Martínez , P., & Roca, D. (2011). Substrates for cultivation without. In *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*, 6 (2), 37-77. Obtenido de <https://academia.ceniflores.org/CentroDocumental/sustratos-manejo-del-clima-automatizacion-y-control-en-sistemas-de-cultivo-sin-suelo/>
- Matos, H. Rogelio, G. & Tapia, X. (2002). Composition and physiological pro ling of sprout. *associated microbial communities*. 6(5), 3-8. Obtenido de http://meridian.allenpress.com/jfp/article-pdf/65/12/1903/1674942/0362-028x-65_12_1903.pdf
- Morales, E., de la Cruz Lázaro, E., Osorio, R., Sánchez, E., Montemayor, A., & Márquez, C. (2016). Mineral content and yield of biofortified cowpea bean spourt. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (1), 15-25. DOI: 2007-0934
- Navarro, A. Navarrete, P & Rivas, W. (2015).Vigor, an essential element of seed quality. *Cuban Journal Of Agricultural Science*, 49(4), 447-458. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802015000400003
- Ohanenye, P. Jones, P. & Taylor, S.(2021). Food fortification technologies: Influence on iron, zinc and vitamin A bioavailability and potential implications on micronutrient deficiency in sub-Saharan Africa. *Scientific African*, 11(2), 2-8. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00667
- Pérez, J., Torres , A., & Rogel, M. (2020). Morphological characters and indentification of subphases during inibiton in wallflowers seeds (Matthiola incana). *Apiario*, 5 (7), 35 40. DOI: 10.32854/agrop.vi.1627

- Prado, E. Torres, H. & Walker, O. (2007). Analysis of the structural consensus of the zinc coordination centers of metalloprotein structures. *Biochim Biophys*, 4(2), 47-53. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17855175/>
- Raboy et al. (2001). Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. *Journal of Plant Physiology*, 5(1), 158, 489-497. DOI: 10.1078/0176-1617-00361
- Raboy, V., Young, K. A., Dorsch, J. A., & Cook, A. (2001). Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. *Journal of Plant Physiology*, 158(2), 489-497. DOI: 10.1078/0176-1617-00361
- Rubio, C., González, D., Martín, E., Revert, C., Rodríguez, I., & Hardison, A. (2007). The zinc: Oligoelemento esencial. *Nutrición Hospitalaria*, 22(1), 101-107. DOI: 0212-1611
- Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(4), 905-927. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/jssp/v13n4/aop7213.pdf>
- Salvatierra, J. (2022). *Efecto de diferentes concentraciones de zinc sobre parámetros de crecimiento en germinados de alfalfa (Medicago sativa) y su potencial fortificación para consumo humano*. [Tesis de Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/>
- Sangronis, E. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan. *LWT - Food Science and Technology*, 10(1), 116-120. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643805001751>
- Vadlamudi, K., Upadhyay, H., Singh, A., & Reddy, M. (2020). Influence of Zinc application in plant growth: An overview. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(1), 21-27. DOI: 2515-8260
- Vega, P., Castillo, P., & Chavez, A. (2016). Acid biosynthesis indol-3-acético and promotion of plant growth by bacteria. *Cultivos Tropicales*, 6(1), 37-27. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362016000500005

- Wei, Y., Shohag, M. J., & Wang, Y. (2012). Effect of zinc sulfate fortification in germinated brown rice on seed zinc concentration, bioavailability, and seed germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(3), 1871-1879. DOI: 10.1021/jf205025b
- White, N. Cedeño, J. Sanchez, I. (2020). Nutrition, yield and nutrient export in common bean under zinc fertilization in no-till system. *Agricultural Sciences • Ciênc. agrotec*, 6(1), 44. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/cagro/a/tkhrgz8MPSg8BGwLV8znRLR/?lang=en>