



Evaluación de dosis de zinc en dos formas de aplicación para la biofortificación en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Imbabura y San Jacinto

De La Cruz Montalvo, Henry David

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

15 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación de dosis de zinc en dos formas de aplicación para la biofortificación en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Imbabura y San Jacinto**, fue realizado por el señor: **De La Cruz Montalvo, Henry David**; 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, 15 de agosto del 2023



Atestado electrónicamente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal Mgtr.

C.C.: 1708262348

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



Henry de la Cruz Tesis Final.docx

Scan details

Scan time:
August 15th, 2023 at 18:10 UTC

Total Pages:
28

Total Words:
6999

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	3.6%	255
Minor Changes	1%	68
Paraphrased	0.7%	52
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
 AI text
 Human text

Plagiarism Results: (2)

Biofortificación con micronutrientes en cultivos agr... 0.4%
[https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/...](https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/)
Ir al contenido principal Ir al menú de navegación principal Ir al pie de página del sitio ...

¿Cómo hacer la harina de maíz en casa? 0.4%
<https://preguntasprincipales.com/library/lecture/read/62580...>
Inicio Contactos Preguntas más frecuentes Mejores respuestas Información breve Información comú...

TESIS 0.4%
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2...>
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE MEDICINA TESIS RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE MASA CORPORAL Y LA...



PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

C.C.: 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **De La Cruz Montalvo, Henry David**, con cédula de ciudadanía N 1717742975, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de dos fuentes de hierro y sus dosis para la biofortificación de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Imbabura y San Jacinto** es de mi/nuestra 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, 15 de agosto del 2023

De La Cruz Montalvo, Henry David

C.C.: 1717742975



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **De La Cruz Montalvo, Henry David**, con cédula de ciudadanía No. 1717742975 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación de dos fuentes de hierro y sus dosis para la biofortificación de trigo (*Triticum aestivium*) variedad Imbabura y San Jacinto** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de agosto del 2023

De La Cruz Montalvo, Henry David

C.C.: 1717742975

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres que me apoyaron tanto en los momentos buenos y en los malos. Especialmente a mi querida madre que siempre estuvo a mi lado dándome todo lo necesario para salir adelante, mis hermanos que me impulsaron a no rendirme y luchar por lo que me apasiona. Gracias a todos por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Mi madre, que me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio. También quiero dedicarle este trabajo a mi querido abuelito Aníbal Montalvo que desde mi infancia forjó en mí el amor por la tierra, por los animales, enseñándome que esta profesión dignifica al hombre y lo hace merecedor de todo lo bueno que en ella se logre y que desde el cielo hoy y siempre me estará guiando.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la sabiduría, la salud y la fuerza para culminar esta etapa de mi vida. A mi madre Guadalupe Montalvo y a Javier Ávila a quien considero como un padre, a mis hermanos Marcia y Jorge los mismos que estuvieron junto a mí en este largo camino que hoy rinde sus frutos, los mismos que serán compartidos con ustedes mi motor para seguir adelante.

Quiero agradecer los docentes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, a mi tutor el Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal por su apoyo y comprensión para realizar este proyecto, más que un docente que me ha sabido guiar, le considero un amigo al cual siempre le tendré presente, de la misma manera al Dr. Cesar Falconí quien con sus sabios consejos de vida me ayudo a perseverar en esta etapa importante de mi vida.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos Anita Lucia, Juan David, Alvaro Alexander y Bryan Xavier por los momentos compartidos a lo largo de este hermoso viaje, el mismo que culmina llevándome los más gratos recuerdos.

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.....	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	18
Hipótesis	18
CAPITULO II	19
MARCO REFERENCIAL	19
Biofortificación	19
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	19
Zonas de producción de trigo en Ecuador	20

Variedades	20
INIAP-IMBABURA 2014	21
INIAP-SAN JACINTO 2010	21
Funciones del zinc en las plantas	22
Deficiencia de zinc en las plantas.....	22
Fuentes de Zinc.....	22
CAPITULO III.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS	24
Ubicación	24
Métodos	25
El trabajo incluye dos fases	25
Fase 1	25
Fase de campo	25
Aplicación de los tratamientos.....	26
Fase 2	26
Fase de laboratorio	26
Diseño experimental.....	26
Variables evaluadas	27
Altura de la planta	27
Longitud de la raíz.....	28
Propiedades fisicoquímicas del sustrato.....	28
Medición de clorofila a y b	28
Absorción atómica de zinc.....	29
Unidad experimental.....	30
CAPITULO IV	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

Resultados	31
VARIABLES agronómicas	31
VARIABLES de laboratorio.....	31
Discusión.....	35
CAPITULO V	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
Conclusiones.....	37
Recomendaciones.....	37
Bibliografía	38

Índice de tablas

Tabla 1 Análisis del sustrato para la determinación de macro y micronutrientes.....	25
Tabla 2 Tratamientos, forma de aplicación, dosis y variedades	27
Tabla 3 Ecuaciones usadas para calcular clorofila a y b.....	29
Tabla 4 <i>Media ± desviación estándar del largo de raíz bajo el efecto de la variedad y la forma de aplicación</i>	<i>31</i>
Tabla 5 <i>Media ± desviación estándar de la clorofila a y clorofila b bajo el efecto de la interacción triple de la variedad, método de aplicación y dosis.....</i>	<i>32</i>

Índice de figuras|

Figura 1 <i>Ubicación del invernadero de horticultura, Hacienda "El Prado"</i>	24
Figura 2 <i>Croquis Experimental</i>	30
Figura 3 <i>Contenido de Zinc presente en plantas de trigo</i>	33
Figura 4 <i>Contenido de Zinc presente en plantas de trigo variedad Imbabura</i>	34
Figura 5 <i>Contenido de Zinc presente en plantas de trigo variedad San Jacinto</i>	34

Resumen

La biofortificación agronómica consiste en realizar una fertilización directa a las plantas utilizando minerales esenciales, los mismos que aumentan el valor nutricional de los cultivos alimentarios promoviendo la densidad de vitaminas y minerales aprovechables. En la presente investigación se evaluó la biofortificación aplicando dosis de zinc en plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedades Imbabura y San Jacinto a nivel de maceta a fin de conocer la mejor forma y dosis (Edáfica y Foliar), dosis (30, 50, 70 mg. L⁻¹ y 0, 4 y 8 mg. L⁻¹) con la que se logra la bioacumulación de zinc en el trigo. La investigación se realizó en el invernadero de Horticultura de la Hacienda El Prado IASA I, ubicada en el cantón Rumiñahui, parroquia Selva Alegre, utilizando un diseño tri factorial 2x2x3 con tres repeticiones, se evaluaron las variables agronómicas cada 7 días (altura de planta, contenido de clorofila) mientras que las de laboratorio (peso seco, clorofila total y contenido de zinc) se realizaron a los 90 días de la siembra, se utilizó una prueba de comparaciones de medias LSD Fisher al 5% para la validación estadística. Los resultados de la investigación mostraron que el mayor porcentaje de zinc incorporado en las plantas de trigo de las dos variedades fue con el tratamiento T2 50 mg.L⁻¹ aplicación edáfica variedad Imbabura, mientras que con el tratamiento T8 4 mg.L⁻¹ aplicación foliar para la variedad San Jacinto se obtuvo mejores resultados.

Palabras clave: BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA, FERTILIZACIÓN, MINERALES

Abstract

Agronomic biofortification consists of direct fertilization of plants using essential minerals, which increase the nutritional value of food crops by promoting the density of vitamins and usable minerals. In the present research, biofortification was evaluated by applying doses of zinc in wheat plants (*Triticum aestivium*) Imbabura and San Jacinto varieties at pot level in order to know the best form and doses (Edaphic and Foliar), doses (30, 50, 70 mg L⁻¹ and 0, 4 and 8 mg L⁻¹) with which the bioaccumulation of zinc in wheat is achieved. The research was carried out in the Horticulture greenhouse of the Hacienda El Prado IASA I, located in the Rumiñahui canton, Selva Alegre parish, using a tri factorial 2x2x3 design with three replications, the agronomic variables were evaluated every 7 days (plant height, The laboratory variables (dry weight, total chlorophyll and zinc content) were evaluated 90 days after planting. A 5% LSD Fisher test was used for statistical validation. The results of the research showed that the highest percentage of zinc incorporated in the wheat plants of the two varieties was with treatment T2 50 mg. l⁻¹ soil application for the Imbabura variety, while with treatment T8 4 mg. l⁻¹ foliar application for the San Jacinto variety, better results were obtained.

Keywords: AGRONOMIC BIOFORTIFICATION, FERTILIZATION, MINERALS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Las deficiencias de micronutrientes representan un enorme problema en la salud humana con alrededor de un tercio en la población mundial. A nivel mundial los altos déficit de zinc se perciben mucho más en áreas rurales de países en vías de desarrollo, donde se consumen productos vegetales que son cultivados en suelos con una baja disponibilidad de nutrientes, la biofortificación consiste en aumentar el valor nutritivo en diferentes cultivos como el trigo a través de un aumento de la concentración de minerales o vitaminas que son indispensables en la dieta humana (Sánchez *et al.*, 2021).

Estos cultivos biofortificados se desarrollan a través de métodos de fitomejoramiento convencional o de biotecnología moderna (Pachón y Torrez, 2010). Los cultivos biofortificados ayudan a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de la población y esto se logra mediante dos maneras, la primera es a través de mejorar las cualidades agronómicas es decir mejorar el rendimiento y la producción de alimentos lo que en consecuencia nos dan mayores kilocalorías disponibles para el consumo y segundo con la aportación de un mayor contenido de nutrientes esenciales como el hierro y el zinc que a su vez son consumidos de mayor manera por las personas.

A lo largo de la historia la agricultura ha ido evolucionando para lograr suplir las necesidades alimentarias de la población gracias a la mejora genética que ayuda en la mayor producción de los cultivos, sin embargo, en los últimos años la sociedad demanda productos que no solo sirvan para suplir el hambre sino más bien productos que sean capaces de satisfacer las necesidades nutricionales humanas tras su consumo (Ruiz, 2013). A pesar de que estos nutrientes se requieren en cantidades muy pequeñas en la dieta, diversos estudios muestran que el déficit de hierro, zinc, yodo y selenio son muy evidentes en la población.

Existen diferentes trabajos realizados en biofortificación en distintas partes del mundo, como es el caso de investigadores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) que trabajan con el gene *opaque-2* que ayuda en el incremento de la concentración de lisina y triptófano (Pachon y Torrez, 2010). Es por ello por lo que Desde el año 2004 existen proyectos como HarvestPlus coordinado por el International Food Policy Research Institute (IFPRI) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) que lidera esfuerzos internacionales para aumentar el contenido de betacaroteno, hierro y/o zinc en los cultivos básicos de mayor importancia en el mundo en vía de desarrollo.

Otros trabajos se han enfocado en nanopartículas de zinc como agentes de biofortificación en trigo para mejorar la fitomicrobiota en las raíces combinando nanopartículas poliméricas de zinc (Zn-NPs) y bacterias PGPR para ayudar a obtener nutrientes del entorno y mejorar el crecimiento de las plantas (Merinero y Alcudia, 2016).

En Ecuador también se han realizado estudios como es el caso de la investigación realizada en Biofortificación foliar con diferentes fuentes de zinc en Rye Grass perenne (*Lolium perenne*) en el cual se evaluó el efecto de tres fuentes de zinc vía foliar con tres dosis aplicados a los 10-20-30 días en el crecimiento del pasto para determinar la mejor fuente, donde se obtuvo una mayor bioacumulación de zinc en el pasto con E.D.T.A zinc con dosis de 20 ppm aplicado a los 30 días (Licto, 2017).

Justificación

El zinc se presenta como un elemento que tiene poca movilidad dentro de las plantas, pero cumple numerosas funciones dentro de las mismas. Una de ellas es la estructura y funcionalidad de muchas enzimas que dependen directamente del zinc, aproximadamente 2800 proteínas dependen del zinc para su síntesis y actuación (Cakmak, 2015). La cantidad de zinc que se necesita para que las plantas puedan crecer y desarrollarse adecuadamente es muy pequeña que oscila entre 15 y 20 mg/kg de tejido seco, estos valores representan alrededor del

0.1 % del peso seco total del tejido, por esta razón el zinc es considerado un microelemento dentro de las plantas (Amezcuca y Flores, 2017).

Uno de los procesos más importantes del zinc dentro de las plantas es la síntesis de carbohidratos durante las fotosíntesis y la transformación de azúcares en almidón, además de esto en la actualidad el zinc constituye el micronutriente más deficiente en el mundo por lo que puede reducir los rendimientos de los cultivos en un 20 % sin manifestar síntomas (Cakmak, 2015).

Sin embargo, dentro de la salud humana el zinc cumple con distintos procesos biológicos y metabólicos por lo que es útil en reacciones de oxidación-reducción, también es importante en la transcripción de algunas proteínas íntimamente involucradas con el ADN, además de ser un componente de las polimerasas del ADN Y ARN (Rosado, 2010). La deficiencia de este micronutriente en los humanos puede traer consecuencias como el enanismo nutricional que se caracteriza por un retraso importante en el crecimiento y la maduración sexual.

El trigo es el segundo cereal más producido a nivel mundial con alrededor de 778.6 millones de toneladas producidas y sin duda constituye la materia prima de una de las harinas más usadas para la elaboración de pastas y otros productos que son clave para la dieta de muchas familias de todo el mundo (Orús, 2022). La biofortificación de zinc de manera foliar en el trigo ha demostrado que mejora hasta un 50% el contenido de zinc en el grano de trigo, mientras que la aplicación edáfica resulta ser menos efectiva, revelando que es una estrategia muy eficiente para aumentar el contenido de zinc en la planta y a su vez obtener un alimento con mayor contenido de zinc para el aprovechamiento en la dieta humana (Merinero y Alcudia, 2016).

En la actualidad la biofortificación de cultivos es una estrategia que se está volviendo cada vez más usada ya que no solo mejora la producción si no que a su vez brinda un valor agregado a los cultivos y les otorga un potencial para combatir la falta de algunos

micronutrientes que son indispensables en la dieta humana, es por eso que este trabajo de investigación se basa en la evaluación de dosis de zinc en dos formas de aplicación para la biofortificación en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum*) variedad Imbabura y San Jacinto.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la variedad, método de aplicación y dosis de zinc para la biofortificación de trigo (*Triticum aestivum*).

Objetivos específicos

Determinar la dosis adecuada de zinc para la biofortificación de trigo.

Identificar con que método de aplicación el zinc es mejor aprovechado por la planta.

Determinar la variedad con mayor cantidad de Zinc.

Hipótesis

HO: La biofortificación de Zinc en trigo (*Triticum aestivum*) no presento diferencias entre las variedades, métodos de aplicación y dosis de aplicación.

H1: La biofortificación de Zinc en trigo (*Triticum aestivum*) presento diferencias entre las variedades, métodos de aplicación y dosis de aplicación.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

Biofortificación

La biofortificación es una técnica que permite incrementar la concentración de ciertos elementos esenciales en la planta o en la parte comestibles de los productos cosechados, mediante la intervención agronómica, fitomejoramiento o ingeniería genética aplicada (Márquez, 2015).

Otros autores definen a la biofortificación con micronutrientes como una herramienta útil que busca incrementar el contenido de los nutrientes en los cultivos utilizando técnicas de fertilización, fitomejoramiento tradicional o fitomejoramiento asistido con biotecnología, además se puede considerar que es una estrategia eficaz para aliviar la malnutrición de áreas con un bajo déficit de nutrientes (Sida, 2020).

Este enfoque cuenta con múltiples ventajas, dentro de ellas podemos mencionar que la biofortificación sirve para aprovechar la ingesta diaria de una gran cantidad de alimentos básicos que se encuentran en la dieta familiar y que están al alcance de los hogares de bajos ingresos, también podemos mencionar que los costos recurrentes son bajos y el germoplasma se puede compartir internacionalmente, una vez implementado el sistema de cultivos biofortificados es altamente sostenible ya que las variedades mejoradas nutricionalmente seguirán siendo cultivadas año tras año lo que hará que estos alimentos logren llegar a las poblaciones desnutridas en áreas rurales de bajos recursos, por lo tanto se puede mencionar que la biofortificación es una técnica altamente eficiente (Nestel *et al.*, 2006).

Trigo (*Triticum aestivum* L.)

El trigo, cuyo género botánico se denomina *Triticum*, es una planta anual de la familia de las gramíneas (*Poaceae*), ampliamente cultivada en todo el mundo, la palabra trigo proviene del vocablo latino *triticum*, literalmente significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, lo que hace

referencia a la actividad que se realiza para separar el grano de la cascarilla. *Triticum* significa, por lo tanto, “grano que se debe trillar para ser consumido (Patricia *et al.*, 2017).

El trigo (*Triticum aestivum L.*) junto con el arroz, maíz y la cebada son los cereales de mayor importancia en el Ecuador, el consumo nacional de trigo supera las 450 000 Tm/año, que resultan en un consumo per cápita superior a 30 kg/año, el Ecuador importa el 98% de los requerimientos internos de trigo y sólo un 2% (9 000 Tm) es producido a nivel nacional (Garófalo, 2011).

Zonas de producción de trigo en Ecuador

En Ecuador, el área cosechada muestra una tendencia creciente. El Instituto Ecuatoriano de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) registra que el área sembrada pasó de 14.000 a 23.000 hectáreas entre 2010 y 2013 y se espera que llegue a por lo menos 69.000 hectáreas en los próximos 10 años. Prueba de ello es que desde 2011, seis municipios de las provincias de Loja, Azuay y Cañar (en el sur de los Andes) han incrementado la siembra de trigo, por medio de un programa de sustitución de importaciones que les proporciona semillas, urea, fertilizantes, herbicidas, equipos (trilladora) y capacitación INIAP, seguidas de las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar, Cañar donde se registran el mayor aporte de grano de molienda y mayor superficie sembrada (Monar, 2010).

Variedades

El INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) ha generado nuevas variedades de trigo mejoradas que ha liberado en la última década 2000-2010, estas variedades se adaptan a las condiciones agroecológicas de la sierra ecuatoriana, entre ellas podemos mencionar a INIAP-Zhalao 2003, INIAP-Vivar 2010, INIAP-San jacinto 2010, INIAP-Mirador 2010 e INIAP-Imbabura 2014, que presentan características de resistencia a royas (amarilla y de hoja) y además poseen altos rendimientos y buena calidad industrial (Juan *et al.*, 2014).

INIAP-IMBABURA 2014

Es una línea de trigo harinero, que fue desarrollada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México registrada con el nombre de TINAMOU, fue introducida en el Ecuador en el año de 1999, esta variedad ha sido seleccionada con agricultores trigueros de la sierra ecuatoriana porque presenta altos rendimientos, buena calidad para panificación y resistencia a las principales plagas y enfermedades del cultivo (Falconí, 2014).

INIAP-IMBABURA 2014 es una variedad que ha demostrado una buena adaptación en todas las zonas trigueras que comprenden las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Azuay, en altitudes que van desde los 2000-3000 m, con precipitaciones de 400 a 500 mm distribuidas durante el ciclo de cultivo, tiene un ciclo del cultivo de 160 a 180 días, la planta alcanza una altura de 105 cm, es resistente a Roya amarilla, Roya de la hoja, Fusarium y presenta un rendimiento de 4 (t/ha) (Falconí, 2014).

INIAP-SAN JACINTO 2010

Es una variedad de trigo panadero originada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cuyo pedigrí es SERI/ATTILA, ingreso al Ecuador en el año 1998 y a partir del año 2000 fue evaluado en varias localidades de la sierra centro norte dando como resultados un alto rendimiento, adaptación y resistencia a roya amarilla del trigo (Monar, 2010).

INIAP-SAN JACINTO 2010, es una variedad que se adaptado a zonas ubicadas entre los 2200-3000 m, en las provincias de Bolívar, Chimborazo e Imbabura donde es destinada para panificación, el ciclo del cultivo es de 160 a 170 días, con un rendimiento de 4 (t/ha), la planta alcanza una estatura de 88 cm con un tallo tolerante al vuelco, la variedad es tolerante a la sequía y resistente a Roya amarilla, Roya de la hoja, Fusarium, tiene buena aptitud panadera y rendimiento harinero (Monar, 2010).

Funciones del zinc en las plantas

El zinc (Zn) es un microelemento esencial de suma importancia para las plantas, realiza varias funciones clave, es un componente estructural y funcional de muchas enzimas. Participa en la síntesis y función de las proteínas (alrededor de 2.800 proteínas dependen del zinc), es indispensable para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y en la transformación de azúcares en almidón, la deficiencia de zinc reduce en un 50 – 70 % la fotosíntesis neta dependiendo del cultivo (Castellanos y Rodríguez, 2014).

El zinc también ayuda a las plantas a soportar las bajas temperaturas. Este elemento es la base para la formación de auxina, que ayuda a regular el desarrollo y elongación de los tallos, es necesario para el metabolismo de los ácidos nucleicos, ya que este elemento forma parte de las enzimas y proteínas involucradas en la síntesis y expresión del ADN, como las ADN y ARN polimerasas, las histonas deacetilasas y las proteínas de zinc llamadas factores de transcripción, que en conjunto controlan la expresión génica (Amezcuca y Flores, 2017).

Deficiencia de zinc en las plantas

Al ser un microelemento que se encarga de múltiples funciones dentro de las plantas es notorio las deficiencias de zinc, es decir los síntomas se presentan en las hojas nuevas, pero dichos síntomas varían dependiendo del cultivo, normalmente se presentan como un patrón inconsistente de clorosis, manchas necróticas en las orillas o en las puntas de las hojas, estas mismas con frecuencias son más pequeñas y torcidas hacia arriba o deformes, además los entrenudos de la planta se acortan, dándole un aspecto de escarapela y un bajo desarrollo de botones, afectando a su vez al florecimiento y ramificación de la planta (Chen, 2022).

Fuentes de Zinc

Existen dos fuentes principales de zinc que incluyen compuestos inorgánicos y quelatos sintéticos, entre las fuentes inorgánicas tenemos el sulfato de zinc que es la más utilizada y también la más recomendada, el óxido de zinc es una buena opción para el uso en suelos con

un pH ácido, ya que la solubilidad garantiza la disponibilidad, y en este caso, a mayor solubilidad, mayor disponibilidad de la fuente (Chen, 2022).

Entre los quelatos, la sal disódica de Zn-EDTA ($\text{Na}_2\text{Zn-EDTA}$) es la fuente más estable para su uso en suelos, fertirriego e hidroponía utilizando soluciones de fertilizantes concentradas. Los quelatos suelen ser de 2 a 5 veces más efectivos que el sulfato de zinc cuando se aplican al suelo, pero suelen ser muy costosos, pero para aplicaciones foliares la mejor alternativa es utilizar sulfato de zinc soluble, aunque también puede dar resultados muy satisfactorios con nitrato de zinc. Alternativamente, los materiales orgánicos como el estiércol de pollo, el estiércol o el compost contienen altas cantidades de zinc y pequeñas cantidades de cobre (Cu) y boro (B), entre otros (Castellanos y Rodríguez, 2014).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se llevó a cabo en la provincia de Pichincha, en el canto Rumiñahui parroquia de Sangolquí, barrio San Fernando, en el campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuarias de la ESPE IASA I en la Hacienda “El Prado” dentro del invernadero de Horticultura, el mismo que posee una temperatura media anual de 18.4 °C, humedad relativa del 40.16% y $658.91 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (Villareal, 2018).

La Hacienda “El Prado” se encuentra ubicada en una longitud de 78° 24' 44" E y a una altitud de 0° 23' 20" S, con una altitud de 2748 m.s.n.m. Las temperaturas de la zona en estudio se ubican con una media de 7.95 °C y una máxima de 19.93° C, con una precipitación anual de 1332.72 mm (Arce, 2009).

Figura 1

Ubicación del invernadero de horticultura, Hacienda "El Prado"



Nota. Ubicación de la fase de experimentación, adaptado de (Google Maps, 2022).

Métodos

El trabajo incluye dos fases

Fase 1

Fase de campo

La fase de campo se realizó en la Hacienda “El Prado” IASA I, en el invernadero de Horticultura, donde se germinaron las semillas de trigo de las variedades Imbabura 2 y San Jacinto, en bandejas de germinación de plástico con 72 alvéolos y 4 cm de profundidad; el sustrato utilizado fue fibra de coco al 100%. Las bandejas de germinación fueron colocadas en una cámara humedad al 90% de Humedad Relativa y una temperatura promedio de 25°C; una vez que las plántulas se desarrollaron hasta los 10 cm, aproximadamente 15 días, se las trasplantaron a macetas de 2 litros de capacidad, con un sustrato a base de tierra negra y pomina con una relación 70:30.

Después del trasplante se irriego de forma continua cada 4 días durante dos semanas, pasado este tiempo, el riego fue cada semana (350 ml por maceta). Al mes del trasplante se fertilizó con 5 gramos por maceta de 10-30-10. El deshierbe fue manual, cada 15 días.

Tabla 1

Análisis del sustrato para la determinación de macro y micronutrientes.

N° muestra	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	*PH	*CE μS/cm
22-2321	0,38	0,06	0,05	0,47	0,19	0,06	0,1	30,1	23	10692	436	6.0	603

Nota. Resultados de análisis del sustrato en la Subestación INIAP Santa Catalina, el PH (H₂O 1:33) y la conductividad eléctrica (1:33) fueron medidos en el laboratorio de suelos del IASA I.

Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos (0 mg. L⁻¹, 4 mg. L⁻¹, 8 mg. L⁻¹) y (30 mg. L⁻¹, 50 mg. L⁻¹, 70 mg. L⁻¹) fueron aplicados, y por drench al sustrato, mediante el uso de un atomizador y una bomba respectivamente

Fase 2

Fase de laboratorio

Esta fase comprendió los análisis de las propiedades fisicoquímicas del sustrato, medición de clorofila y contenido de zinc en las plantas de trigo de las variedades INIAP-IMBABURA 2014 e INIAP-SAN JACINTO 2010 mediante el uso de la técnica de Absorción Atómica.

Diseño experimental

Para las variables altura, largo de raíz, porcentaje de materia seca, clorofila a, clorofila b y el contenido de zinc en las plantas de trigo (*Triticum aestivum*), se aplicó mediante estadística descriptiva (promedio ± desviación estándar). Para comparar estas variables entre la variedad, método de aplicación y dosis, se aplicó un diseño tri factorial 2x2x3 con tres repeticiones, bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + M_j + D_k + VM_{ij} + VD_{ik} + MD_{jk} + VMD_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde

μ : media general

V_i : efecto de la i-ésima variedad

M_j : efecto del j-ésimo método de aplicación

D_k : efecto de la k-ésima dosis

VM_{ij} : efecto de la interacción doble de la variedad y el método de aplicación

VD_{ik} : efecto de la interacción doble de la variedad y la dosis

MD_{jk} : efecto de la interacción doble del método de aplicación y la dosis

VMDijk: efecto de la interacción triple de la variedad, método de aplicación y dosis

eijkl: error experimental

También se realizaron pruebas de comparación de medias con LSD de Fisher a un $\alpha = 0.05$.

Los tratamientos se distribuyeron como se muestra a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

Tratamientos, forma de aplicación, dosis y variedades

TRATAMIENTOS	FORMA DE APLICACIÓN	DOSIS	VARIEDAD
T1 (TESTIGO)	SUSTRATO	30 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T2	SUSTRATO	50 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T3	SUSTRATO	70 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T4 (TESTIGO)	SUSTRATO	30 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010
T5	SUSTRATO	50 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010
T6	SUSTRATO	70 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010
T7 (TESTIGO)	FOLIAR	0 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T8	FOLIAR	4 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T9	FOLIAR	8 mg.L ⁻¹	INIAP-IMBABURA 2014
T10 (TESTIGO)	FOLIAR	0 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010
T11	FOLIAR	4 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010
T12	FOLIAR	8 mg.L ⁻¹	INIAP-SAN JACINTO 2010

Nota. Autoría propia.

Variables evaluadas

Se evaluaron variables agronómicas como: altura de planta, longitud de raíz, fisiológicas como: clorofila a y b y nutricionales como medición del porcentaje de Zn en toda la planta.

Altura de la planta

A los 45 días DDT (días después del trasplante) se aplicó el Zinc como sulfato de zinc y se procedió a medir la altura en cm de 5 plantas por tratamiento utilizando un flexómetro, desde la base hasta el apical, estos datos se tomaron cada semana, cabe señalar que se tomó una altura inicial previo a la aplicación.

Longitud de la raíz

El largo de la raíz se midió en cm a 5 plantas de trigo con cinta métrica, por cada tratamiento. Para esto, se lavaron las raíces con agua destilada y jabón neutro, se dejó secar y se midieron las raíces al final del experimento.

Propiedades fisicoquímicas del sustrato

Para el sustrato se analizaron las propiedades físicas como el tamaño de partículas, para esto se separaron mediante tamices de (4 mm, 1, 70 mm, 600 μm , 250 μm , 180 μm y 106 μm).

Para determinar el pH utilizamos una muestra de sustrato con un peso de 500 g y se dejó en la estufa a secar por 24 horas a una temperatura de 105 °C, una vez que el sustrato se secó, se procedió a tamizar la muestra con un tamiz, después se colocó 30 g del sustrato tamizado en un vaso de precipitación y se aforó con agua destilada hasta alcanzar los 100 ml, finalmente se utilizó un medidor de pH (pH de mesa de precisión PH820) para obtener los valores requeridos.

Medición de clorofila a y b

Para la medición de la clorofila se realizó el método de Harborne con la ayuda del espectrofotómetro, se tomaron muestras de las hojas de trigo por cada tratamiento incluyendo las repeticiones, se lavó con jabón neutro y se dejó secar, luego se pesó 0,25 g del tejido vegetal y se procedió a macerar firmemente en un mortero agregando 3 ml de etanol al 95 %, se colocó las muestras en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio para evitar la luz y se dejó reposar por 24 horas.

Una vez que las muestras fueron dejadas en reposo se aforo a 6,25 ml con etanol y se llevó a centrifugar los tubos de ensayo por 15 minutos a 10.000 revoluciones, luego se separó el sobrenadante en los tubos de ensayo y finalmente se leyeron las muestras para saber la absorbancia a 645 y 663 nm en el espectrofotómetro.

la clorofila total se obtuvo con las siguientes ecuaciones como se observa en la tabla 3.

Tabla 3*Ecuaciones usadas para calcular clorofila a y b*

Solventes	Ecuaciones
95 % Etanol	Clorofila A ($\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$) = $12,25 * A_{663} - 2,78 * A_{645}$
	Clorofila B ($\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$) = $21,50 * A_{645} - 5,10 * A_{663}$

Nota: Adaptado de (Barreno, 1994) A_{663} y A_{645} corresponden a las absorbancias del extracto de clorofila en las longitudes de onda de 663 y 645 nm, respectivamente.

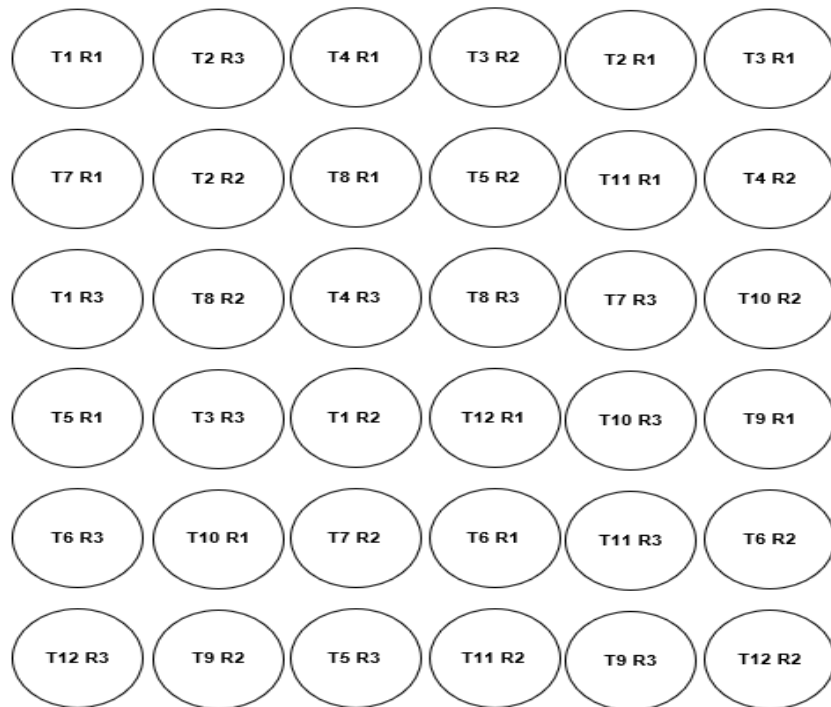
Absorción atómica de zinc

Para determinar el porcentaje de zinc asimilado por la planta se realizó pruebas destructivas de 5 plantas de trigo por tratamiento, las plantas fueron lavadas con jabón neutro y agua destilada, posteriormente se las secó y luego se llevó a la estufa a 90° C por 24 horas, una vez las plantas estuvieron secas se las trituro en un molino eléctrico para obtener una muestra 3 g, las muestras obtenidas se colocaron en crisoles de porcelana para calcinar a 400° C en una mufla, se realizó la recuperación del material en una plancha de calentamiento, añadiendo 1 ml de agua destilada y 10 ml de ácido clorhídrico 2 N, hasta llegar al punto de ebullición.

Se vertió el contenido en balones para filtrar el contenido y posteriormente se aforó con agua destilada a 50 ml, una vez filtrados se colocó las muestras en tubos de ensayo y se dejó reposar 24 horas, luego las muestras fueron filtradas una vez más utilizando un filtro millipore con una jeringa de 10 ml y se llevó a cabo la lectura mediante el equipo de absorción atómica.

Figura 2

Croquis Experimental



Nota. Distribución de las U. experimentales en el invernadero, T1 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T2 50 mg.L^{-1} , T3 70 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación al sustrato, (T4 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T5 50 mg.L^{-1} , T6 70 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación al sustrato, (T7 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T8 4 mg.L^{-1} , T9 8 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación foliar, (T10 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T11 4 mg.L^{-1} , T12 8 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación Foliar.

Unidad experimental

Las unidades experimentales fueron 36 macetas con plantas de trigo (*Triticum aestivum*) de las dos variedades Imbabura y San Jacinto

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

VARIABLES AGRONÓMICAS

Se encontró un efecto significativo para la variable largo de raíz, sobre los factores variedad ($F_{2;24} = 6,38 ; p = 0,0124$) y forma de aplicación ($F_{2;24} = 5,68 ; p = 0,0183$) Mientras que para la variable altura no presentaron diferencias significativas para altura de planta bajo el efecto de la triple interacción de la variedad, forma de aplicación y dosis ($F_{2;24} = 0,11 ; p = 0,9005$).

La variedad San Jacinto, presentó el mayor largo de raíz a comparación de la variedad Imbabura. También se observó que la aplicación foliar produce una mayor longitud de la raíz a diferencia de la aplicación al sustrato (Tabla 2).

Tabla 4

Media \pm desviación estándar del largo de raíz bajo el efecto de la variedad y la forma de aplicación

Variable	Variedad		Forma de Aplicación	
	San Jacinto	Imbabura	Foliar	Sustrato
Largo de Raíz (cm)	24,48 \pm 4,23 a	22,91 \pm 4,34 b	24,43 \pm 4,11 a	22,96 \pm 4,47 b

Nota. Las medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas a un $\alpha = 0,05$.

VARIABLES DE LABORATORIO

Se encontró que la triple interacción de la dosis, la variedad y la forma de aplicación causaron diferencias significativas en el porcentaje materia seca ($F_{2;24} = 6,05 ; p = 0,0074$), clorofila A ($F_{2;24} = 33,3 ; p < 0,0001$), clorofila B ($F_{2;24} = 78,4 ; p < 0,0001$) y clorofila total ($F_{2;24} = 110,18 ; p < 0,0001$).

En tanto a la materia seca, se obtuvo el mayor porcentaje con el tratamiento T2 (50 mg.L^{-1}) de sulfato de Zinc en la aplicación al sustrato sobre la variedad Imbabura en

comparación a los demás tratamientos, a excepción del T3, T11 y T12. Para la clorofila A se obtuvo que el tratamiento T11 (4 mg.L^{-1}) de sulfato de zinc vía foliar en la variedad San Jacinto obtuvo mayor porcentaje en comparación con las demás, a excepción del T1, T8 y T10. En el porcentaje de clorofila B se encontró que el tratamiento T2 (50 mg.L^{-1}) de sulfato de Zinc aplicado al sustrato sobre la variedad Imbabura es mayor al comparar con los otros tratamientos. Por último, el mayor contenido de clorofila total fue con el tratamiento T2 (50 mg.L^{-1}) de sulfato de Zinc aplicado al sustrato y con el tratamiento T8 (4 mg.L^{-1}) de sulfato de Zinc vía foliar sobre la variedad Imbabura al comparar con los demás tratamientos (Tabla 3).

Tabla 5

Media \pm desviación estándar de la clorofila a y clorofila b bajo el efecto de la interacción triple de la variedad, método de aplicación y dosis

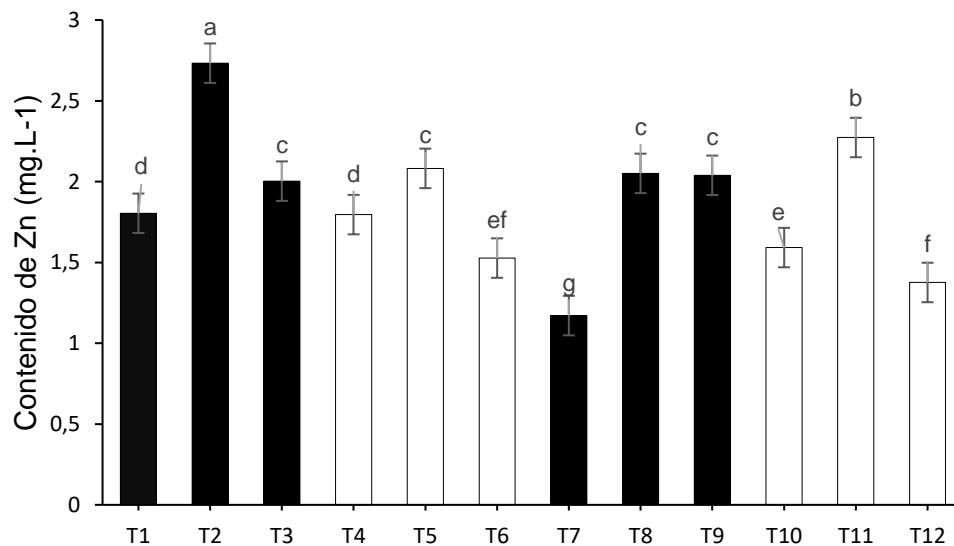
Tratamiento	Dosis mg. L ⁻¹	%MS		Clorofila a µg. mL ⁻¹		Clorofila b µg. mL ⁻¹		Clorofila total µg. mL ⁻¹	
T1	30	58,03±4,99	bcd	33,08±2,21	ab	25,32±1,1	c	58,4±1,12	b
T2	50	75,68±8,78	a	25,41±2,65	h	42,87±7,49	a	68,23±4,89	a
T3	70	68,49±1,83	ab	30,39±0,03	de	7,38±0,11	fg	37,77±0,11	ef
T4	30	63,69±8,92	b	31,32±0,1	cd	8,9±0,04	efg	40,22±0,14	e
T5	50	61,23±1,27	bc	31,38±0,05	bcd	8,61±0,16	efg	39,99±0,14	e
T6	70	61,75±5,23	bc	28,03±0,06	fg	5,83±0,06	g	33,86±0,05	gh
T7	0	58,93±3,56	bc	32,54±0,03	abc	10,53±0,09	ef	43,07±0,06	d
T8	4	52,96±2,2	cd	27,1±0,41	gh	38,9±0,22	b	65,99±0,39	a
T9	8	47,69±2,42	d	29,51±0,16	ef	6,24±0,06	g	35,76±0,1	fg
T10	0	51,32±6,29	cd	32,86±0,05	abc	15,61±0,71	d	48,87±0,65	c
T11	4	65,29±14,26	ab	33,26±0,08	a	11,5±0,07	e	44,37±0,07	d
T12	8	67,3±1,99	ab	26,72±0,05	gh	5,34±0,02	g	32,07±0,04	h

Nota. Autoría propia, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). T1 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T2 50 mg.L^{-1} , T3 70 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación al sustrato, (T4 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T5 50 mg.L^{-1} , T6 70 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación al sustrato, (T7 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T8 4 mg.L^{-1} , T9 8 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación foliar, (T10 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T11 4 mg.L^{-1} , T12 8 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación Foliar.

Se encontró que el mayor porcentaje de zinc incorporado en las plantas de trigo de las dos variedades fue con el tratamiento T2 50 mg.L^{-1} aplicado al sustrato variedad Imbabura y el menor valor se obtuvo con el tratamiento T7 0 mg.L^{-1} aplicación foliar Imbabura, mientras que para la variedad San Jacinto el mejor tratamiento fue el T11 4 mg.L^{-1} aplicación foliar cómo se presenta en la Figura 3.

Figura 3

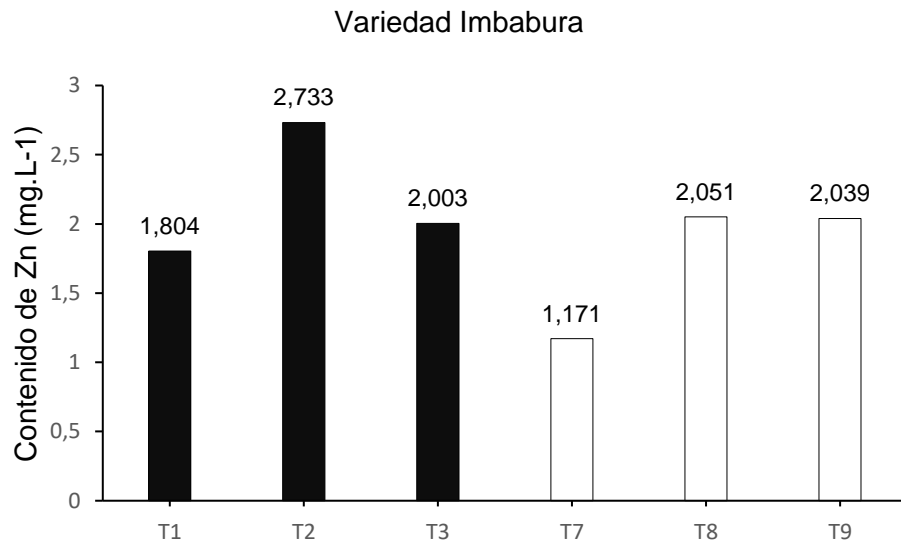
Contenido de Zinc presente en plantas de trigo



Nota. Este grafico muestra el contenido total de zinc en las plantas de trigo las barras negras muestran los valores de la variedad Imbabura con aplicación de zinc al sustrato y foliar, mientras que las barras blancas muestran los valores obtenidos con la variedad San Jacinto aplicación de zinc al sustrato y foliar. T1 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T2 50 mg.L^{-1} , T3 70 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación al sustrato, (T4 (Testigo) 30 mg.L^{-1} , T5 50 mg.L^{-1} , T6 70 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación al sustrato, (T7 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T8 4 mg.L^{-1} , T9 8 mg.L^{-1}) Imbabura aplicación foliar, (T10 (Testigo) 0 mg.L^{-1} , T11 4 mg.L^{-1} , T12 8 mg.L^{-1}) San Jacinto aplicación Foliar.

Figura 4

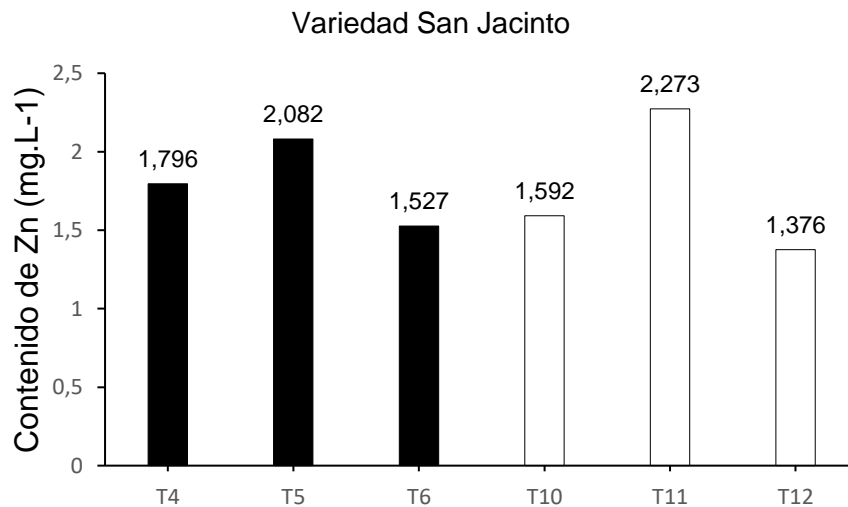
Contenido de Zinc presente en plantas de trigo variedad Imbabura



Nota. Este grafico muestra el contenido de zinc en las plantas de trigo variedad Imbabura con aplicación de zinc al sustrato y foliar. T1 (Testigo) 30 mg.L⁻¹, T2 50 mg.L⁻¹, T3 70 mg.L⁻¹), (T7 (Testigo) 0 mg.L⁻¹, T8 4 mg.L⁻¹, T9 8 mg.L⁻¹).

Figura 5

Contenido de Zinc presente en plantas de trigo variedad San Jacinto



Nota. Este grafico muestra el contenido de zinc en las plantas de trigo variedad San Jacinto con aplicación de zinc al sustrato y foliar. T4 (Testigo) 30 mg.L⁻¹, T5 50 mg.L⁻¹, T6 70 mg.L⁻¹), (T10 (Testigo) 0 mg.L⁻¹, T11 4 mg.L⁻¹, T12 8 mg.L⁻¹).

Discusión

El zinc es un elemento que desempeña un papel muy importante en muchos procesos fisiológicos de las plantas, este interviene en síntesis de proteínas de más de 300 enzimas, y a su vez es necesario para el correcto desarrollo durante las fases de crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas, la eficiencia del zinc en las plantas de trigo se refleja con valor de 2,68 y 2,92 mg/L-1, en el ensayo se evidencio mediante absorción atómica del contenido de zinc, se encontró que el tratamiento T2 50 mg.L^{-1} presenta 2,733 mg/L-1 lo cual está dentro de los valores tolerados para las plantas tal como lo reportados (Madrugada, 2015)

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza para el largo de raíz se encontró un efecto significativo de la variedad ($F_{2;24} = 6,38$; $p = 0,0124$) y la método de aplicación ($F_{2;24} = 5,68$; $p = 0,0183$), dando como resultado que la forma de aplicación foliar en la variedad San Jacinto presenta un longitud radicular mayor que la variedad Imbabura, contrario a lo que indica (Gómez y Coronado, 2015) en su estudio donde menciona que las plantas presentan mayor desarrollo del sistema radicular ante la presencia de Zinc en el suelo, sin embargo esto se puede deber a que el estudio se llevó a cabo durante dos años y en combinación de zinc con nitrógeno, a diferencia que en esta investigación solo se aplicó zinc.

Mientras que la triple interacción de la variedad, la dosis y la altura no presentaron diferencias significativas para la altura de la planta ($F_{2;24} = 0,11$; $p = 0,9005$), puesto que los trigos presentaron una altura similar entre variedades, en concordancia el estudio de (Franco *et al.*, 2015) donde menciona que el análisis estadístico no arroja diferencias significativas en ninguno de los dos tratamientos aplicados de manera edáfica y foliar, pero si se genera mayor peso en el grano con la aplicación foliar.

El zinc juega un papel muy importante en la cantidad clorofila total de las plantas ya que este elemento ofrece protección frente al daño foto-oxidativo, si las plantas se desarrollan en deficiencia de este elemento pueden sufrir clorosis y necrosis que afectan al contenido de

clorofila, en el ensayo se obtuvo mejores resultados para el contenido de clorofila total con el tratamiento T2 50 mg.L^{-1} aplicación al sustrato variedad Imbabura, y el tratamiento T11 4 mg.L^{-1} aplicación foliar variedad San Jacinto como se refleja en la tabla 3, (Echeverría, 2015) en su estudio sobre fertilización de trigo usando zinc y cobre menciona que si bien este elemento es necesario para la síntesis de clorofila, la aplicación del mismo obtuvo diferencias significativas entre el testigo y la aplicación de zinc, tal y como lo pudimos comprobar en nuestro ensayo.

Para el contenido del porcentaje de materia seca obtuvimos un mayor valor con el tratamiento T2 50 mg.L^{-1} variedad Imbabura con la aplicación al sustrato en concordancia con lo presentado por (Reynolds, 2020) los mismos que reportan que la aplicación de zinc al suelo produjo mayor porcentaje de paja en plantas de trigo esto se ve representado en el contenido de materia seca.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La variedad Imbabura con dosis de aplicación al sustrato de 50 mg. L^{-1} y la variedad San Jacinto con dosis de aplicación foliar de 4 mg. L^{-1} presentaron los mejores resultados para la biofortificación con sulfato de zinc en plantas de trigo.
- El método de aplicación para Zn, más eficiente, fue con la aplicación al sustrato y para la variedad Imbabura, mientras que para la variedad San Jacinto el mejor método de aplicación fue foliar.
- La variedad con mayor contenido de zinc reportado mediante análisis de absorción atómica fue la variedad Imbabura con la que se obtuvo una cantidad de $2,733 \text{ mg. L}^{-1}$ de zinc mientras que la variedad San Jacinto obtuvo $2,051 \text{ mg. L}^{-1}$ de zinc.

Recomendaciones

- Se recomienda que se realice ensayos aplicando zinc en diferentes épocas fenológicas de las plantas, al inicio del ahijamiento y luego en el macollado.
- Se recomienda en futuros ensayos trabajar quelatos de zinc junto con la aplicación de nitrógeno como precursor para la biofortificación.
- Se recomienda aplicar dosis de 50 mg. L^{-1} de zinc directo al suelo para biofortificación en trigo para la variedad Imbabura y 4 mg. L^{-1} foliar para la variedad San Jacinto.

Bibliografía

- Amezcuca, J., y Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, 68(3), 28–35.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Arce, M. (2009). Normal climática y distribución de la precipitación de la hacienda El Prado-IASA. *Boletín Técnico 8, Serie Zoológica 4-5*, 126–128.
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1422>
- Barreno, E. (1994). Coeficientes de extinción de clorofilas. *Stvdia Botánica*, 13(1), 115–121.
https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/73845/Coeficientes_de_extincion_de_clorofilas_.pdf?sequence=1
- Cakmak, I. (2015). *La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo*. Intagri. Recuperado el 16 mayo de 2023. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
- Castellanos, J., y Rodríguez, S. (19 de agosto de 2014). *El Zinc (Zn), en la Nutrición de los Cultivos*. Engormix. Recuperado el 12 de junio 2023.
https://www.engormix.com/agricultura/micronutrientes-cultivos-extensivos/zinc-nutricion-cultivos_a31354/
- Chen, J. (15 de septiembre 2022). *La función del zinc en el cultivo de plantas*. PROMIX. Recuperado el 21 de agosto de 2023. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-zinc-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Echeverría, H. E. (2015). Fertilización en trigo. *International Plant Nutrition Institute*, 18, 9–16.
[http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CAFD5E658379EF9303257E5E00008962/\\$FILE/9.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CAFD5E658379EF9303257E5E00008962/$FILE/9.pdf)
- Falconí, E., Garófalo, J., Ponce, L., Coronel, J., y Abad, S. (2014). INIAP-Imbabura 2014: Nueva variedad de trigo de grano rojo para zonas trigueras del Ecuador. *Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales., Plegable no (412)*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3293>

- Falconí, E., Monar, C., Rivadeneira, M., Ponce, L., Garofalo, J., y Abad, S. (2010). INIAP-San Jacinto 2010: Nueva variedad de trigo para el Centro y Norte del Ecuador. *Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales., Plegable no (332)*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2637>
- Franco, N., Rivas, M., y Picco, E. (2015). *Fertilización foliar con zinc, en trigo bajo condiciones de riego y seco* [Archivo PDF]. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1855/Ciancia%20-%20Guerrero%20Rivas%20-%20Picco.%20Fertilizaci%3%b3n%20foliar%20con%20zinc%20en%20trigo..%20%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garofalo, J., Ponce, L., y Abad, S. (2011). Guía del cultivo de trigo. *Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales., Boletín Divulgativo (411)*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/381>
- Gómez, F., y Coronado, R. (2015). *Biofortificación agronómica y genética con Zinc de genotipos de trigo harinero (Triticum aestivum L.) en clima mediterráneo* [Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura]. <http://hdl.handle.net/10662/3385>
- Google Maps. (2022). *Mapa Satelital del invernadero de Horticultura (Carrera Agropecuaria Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE)*. IASA I. https://www.google.com/maps/place/IASA/@-0.3840437,-78.4150389,115m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d-78.4164022!16s%2Fg%2F11xpb5x_8?hl=es-ES&entry=ttu
- Licto, S. E. (2017). *Estudio de la biofortificación foliar con diferentes fuentes de zinc en Rye grass perenne (Lolium perenne) variedad amazon* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14410>

- Madrugada, L. (2015). Respuesta de plántulas de trigo (*triticum aestivum* L.) al zinc aplicado en semillas. *SCIELO*, 49(6), 623–636.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n6/v49n6a3.pdf>
- Márquez, C. (2015). La biofortificación de cultivos: una alternativa que contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional. *Researchgate, Volumen III*, 14–22.
<https://www.researchgate.net/publication/293651973>
- Merinero, M., Alcudia, A., y Pajuelo, E. (2016). Nanopartículas poliméricas de zinc y su potencial uso como agentes de biofortificación. *En Sinergias En La Investigación En STEM*, 185–189. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/132972/martin-valero_2022_nanoparticulas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Monteros, P. (2014). *Evaluación de siete variedades de trigo (Triticum aestivum L.) Con tres tipos de manejo nutricional, a 2890 M.S.N.M. Juan Montalvo-Cayambe-2012*. [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6717>
- Nestel, P., Bouis, H. E., Meenakshi, J. V, Pfeiffer, W., y Harvestplus, *. (2006). Symposium: Food Fortification in Developing Countries Biofortification of Staple Food Crops 1,2. In *J. Nutr* (Vol. 136). <https://academic.oup.com/jn/article/136/4/1064/4664193>
- Orús, A. (2022, June 8). *El trigo en el mundo*. Datos Estadísticos-Financieros.
<https://es.statista.com/temas/9423/el-trigo-en-el-mundo/#editorsPicks>
- Pachón, H., y Torrez, L. (2010). El Impacto Nutricional de Cultivos Biofortificados o Cultivos con Mayor Calidad Nutricional. *AgroSalud; Centro Internacional de Agricultura Tropical* (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/70022>
- Patricia, B., Burgos, H., Alberto, A., y Aguayo, A. (2017). Comportamiento de la producción de harina de trigo en Ecuador. *Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana, Ecuador*. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-harina-trigo.html>
- Reynolds, M. (2020). *Biofortificación combinada con selenio y zinc de trigo harinero, trigo semolero y guisante en sistemas agroforestales bajo condiciones de secano*

- mediterráneo* [Tesis de Doctorado, Universidad de Extremadura].
https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/11945/4/TDUEX_2020_Reynolds_Marzal.pdf
- Rosado, J. (2010). Deficiencia de zinc y sus implicaciones funcionales. *Scielosp*, vol.40(2), 181–188. <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1998.v40n2/181-189#:~:text=Entre%20las%20consecuencias%20m%C3%A1s%20im,de%20la%20capa%2D%20cidad%20cognoscitiva>.
- Ruiz, J. J. (2013). Biofortificación: La agricultura del futuro. *Tierras: Agricultura* 204, 126–128. <http://hdl.handle.net/10261/78617>
- Sánchez Rodríguez, A. R., y Marín Paredes, M. (2021). Zinc biofortification strategies for wheat grown on calcareous Vertisols in southern Spain: application method and rate. *Plant and Soil*, 462(1–2), 125–140. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04863-7>
- Sida, J., Sánchez, E., Dolores, G., Quezada, Á., Acosta, H., y Baruk, P. (2020). Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas y su impacto en la nutrición y salud humana. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(2), 67–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.54167/tch.v9i2.591>
- Villareal, V. (2018). *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (fragaria x ananassa) variedad festival* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14539>