



**Efecto de tres métodos de suministro de zinc sobre el rendimiento y calidad nutricional
de harina de tres variedades de Trigo (*Triticum aestivum* L.)**

Puma Ninacuri, Bryan David

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgtr.

07 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: “**Efecto de tres métodos de suministro de Zinc sobre el rendimiento y calidad nutricional de harina de tres variedades de Trigo (*Triticum aestivum L.*)**” fue realizado por el señor **Puma Ninacuri Bryan 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 de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de agosto del 2023



firmado electrónicamente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal, Mgtr.

C. C: 1708262348

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

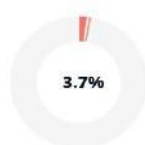


Trabajo titulación-Biofortificacion-Br...

Scan details

Scan time: August 4th, 2023 at 18:42 UTC Total Pages: 62 Total Words: 15400

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.1%	325
Minor Changes	1%	161
Paraphrased	0.6%	90
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
○ Human text

🔍 Plagiarism Results: (97)

🌐 **Repositorio Universidad Técnica de Ambato: La biof...** 0.1%
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24351?loca...>
Skip navigation ...

🌐 **Artículos Técnicos de Fertilización en trigo y cebada...** 0.1%
<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/fertilizacion...>
...

🌐 **Estudio de la biofortificación foliar con diferentes f...** 0.1%
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/14410?sh...>
DSpace Repository Estudio de la biofortificación foliar con diferentes fuentes de zinc en rye grass perenne (Lolium perenne) vari...



Firmado electrónicamente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgtr.

C. C: 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Puma Ninacuri Bryan David**, con cédula de ciudadanía No. 1803616125, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Efecto de tres métodos de suministro de Zinc sobre el rendimiento y calidad nutricional de harina de tres variedades de Trigo (*Triticum aestivum L.*)”** 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, 07 de agosto del 2023

Puma Ninacuri, Bryan David

C. C: 1803616125



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo **Puma Ninacuri, Bryan David**, con cédula de ciudadanía No. 1803616125, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Efecto de tres métodos de suministro de Zinc sobre el rendimiento y calidad nutricional de harina de tres variedades de Trigo (*Triticum aestivum* L.)”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 07 de agosto del 2023

Puma Ninacuri, Bryan David

C. C: 1803616125

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado todas las personas que me apoyaron a lo largo de todo este tiempo de estudio. A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han motivado a seguir adelante y cumplir hoy un sueño más. A mis hermanos que con sus palabras de aliento han estado en todo momento apoyándome en cada paso que he dado para seguir adelante. A toda mi familia que con sus consejos me hicieron mejorar en todos los aspectos personales, pero sobre todo dedico este trabajo a mi tío Vinicio Ninacuri y mi abuelita Delia Macas que ya no se encuentran presentes, pero que siempre me han brindado el amor y comprensión en todo momento.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi tutor Ing. Pablo Landázuri, que con su guía constante y recomendaciones me motivaron a sacar adelante el presente proyecto obteniendo los mejores resultados. A mis padres Gonzalo y Lupita por ser el apoyo fundamental en todo momento de mis estudios especialmente en esta etapa final de mi carrera, gracias por enseñarme a trabajar constantemente por mis sueños y sobre todo enseñarme los valores más importantes que son la responsabilidad, respeto e integridad.

Mis hermanos Christian y Matías que me han apoyado en todo momento, brindándome momentos de diversión cada día.

Mis compañeros de universidad que conocí en este tiempo, personas que me han sabido ayudar en su momento y que a través de los años se han ido convirtiendo en parte de mi vida.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificado.....	2
Resultados de la herramienta para la 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.....	12
Índice de figuras.....	14
Resumen.....	15
Abstract.....	16
CAPITULO I.....	17
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes	17
Justificación.....	18
Objetivos.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivo Específico.....	20
Hipótesis.....	20
CAPITULO II.....	21
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	21
Trigo en el mundo y Ecuador.....	21
Generalidades del cultivo de trigo	21
Requerimientos agroclimáticos.....	22

Descripción morfológica.....	22
Fases de desarrollo según escala Zadoks	23
Descripción de fases	24
Variedades	25
INIAP-Mirador 2010.....	25
INIAP-San Jacinto 2010	26
INIAP-Imbabura.....	26
Manejo del cultivo.....	27
Preparación del suelo.....	27
Siembra.....	27
Densidad de siembra.....	27
Fertilización.....	27
Control de malezas.....	28
Enfermedades	28
Cosecha y Trilla.....	29
Síntomas de deficiencia de Zinc.....	29
Biofortificación	30
Métodos de biofortificación	30
Aplicación edáfica.....	30
Aplicación en semillas (inmersión).....	31
Aplicación Foliar	31
Importancia de Zinc en plantas y humanos.....	31
Sulfato de Zinc	32
CAPÍTULO III.....	33
METODOLOGÍA.....	33
Ubicación.....	33

Condiciones climáticas.....	33
Material y métodos.....	34
Análisis estadístico.....	37
Variables a evaluar	40
Rendimiento del cultivo	40
Calidad de harina	42
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Variables de rendimiento	45
Altura de plantas.....	46
Concentración de AIA en raíces ($\mu\text{g. ml}^{-1}$).....	47
Numero de espigas por metro cuadrado	49
Número de espiguillas por espiga.....	50
Número de granos por espiga.....	51
Humedad en grano.....	53
Rendimiento del cultivo (kg. ha^{-1}).....	54
Variables calidad de harina.....	55
Contenido de fitatos en harina (mg. kg^{-1}).....	55
Concentración de zinc en harina (mg. kg^{-1})	57
Biodisponibilidad.....	57
Enfermedades	58
Discusión	60
CAPÍTULO V	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
Conclusiones.....	66
Recomendaciones	66

BIBLIOGRAFÍA 67

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Caracterización variedad de trigo I-Mirador 2010</i>	25
Tabla 2 <i>Caracterización variedad de trigo I-San Jacinto 2010</i>	26
Tabla 3 <i>Caracterización variedad de trigo I-Imbabura</i>	26
Tabla 4 <i>Requerimiento nutricional kg. ha⁻¹ para producir una tonelada de grano de trigo</i>	28
Tabla 5 <i>Datos climáticos históricos 2001 – 2020 de la estación “C08-IASA”</i>	34
Tabla 6 <i>Descripción de los tratamientos para la investigación</i>	38
Tabla 7 <i>Relación molar entre AF:Zn y su biodisponibilidad de Zinc en porcentaje</i>	44
Tabla 8 <i>ANAVA`s para variables agronómicas y presencia de enfermedades en tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	45
Tabla 9 <i>Altura de plantas (cm) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	46
Tabla 10 <i>Contenido de ácido indol acético (µg. ml⁻¹) en raíces de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	48
Tabla 11 <i>Número de espigas por metro cuadrado de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	49
Tabla 12 <i>Número de espiguillas por espiga de tres variedades de trigo con tres suministros de sulfato de zinc</i>	51
Tabla 13 <i>Número de granos por espiga de tres variedades de trigo con tres suministros de sulfato de zinc</i>	52
Tabla 14 <i>Número de granos por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	52
Tabla 15 <i>Humedad en grano (%) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	54
Tabla 16 <i>Rendimiento del cultivo (kg. ha⁻¹) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	54

Tabla 17 <i>Contenido fitato en harina (mg. kg⁻¹) en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc.....</i>	56
Tabla 18 <i>Concentración de zinc en harina (mg. kg⁻¹) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc.....</i>	57
Tabla 19 <i>Relación mMolar de fitato:zinc para la biodisponibilidad en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	58
Tabla 20 <i>Número de espigas infectadas por carbón volador (Ustilago tritici) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	59

Índice de figuras

Figura 1 <i>Crecimiento y desarrollo de cultivo de trigo</i>	23
Figura 2 <i>Ubicación geográfica IASA 1</i>	33
Figura 3 <i>Croquis experimental del ensayo</i>	39
Figura 4 <i>Altura de plantas de trigo (cm) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	47
Figura 5 <i>Concentración de ácido indol acético ($\mu\text{g. ml}^{-1}$) en raíces de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	48
Figura 6 <i>Número de espigas por metro cuadrado de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	50
Figura 7 <i>Número de granos por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	53
Figura 8 <i>Rendimiento del cultivo (kg. ha^{-1}) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	55
Figura 9 <i>Contenido de fitatos (mg. kg^{-1}) en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	56
Figura 10 <i>Espigas infectadas por carbón volador (<i>Ustilago tritici</i>) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc</i>	59
Figura 11 <i>Cultivo de trigo de tres variedades por efecto de tres suministros de zinc</i>	60
Figura 12 <i>Cultivo de trigo de tres variedades con tres suministros de zinc</i>	61
Figura 13 <i>Conteo del número de espiguillas y de granos</i>	62
Figura 14 <i>Rendimiento por parcela</i>	63
Figura 15 <i>Análisis de concentración de zinc en harina de trigo</i>	64
Figura 16 <i>Análisis de contenido de fitato en harina de trigo</i>	65

Resumen

El zinc es un micronutriente que participa en varias funciones fisiológicas plantas y humanos, sin embargo su deficiencia en los suelos, ocasiona que los cultivos de cereales presenten bajas concentraciones en sus productos finales. La presente investigación se propone evaluar el efecto de tres suministros combinados de zinc (semilla-edáfico, semilla-foliar, edáfico-foliar) sobre los parámetros de rendimiento de cultivo y calidad de harina, en tres variedades de trigo (I-San Jacinto, I-Mirador, I-Imbabura). Los resultados expusieron que, para los parámetros de rendimiento de cultivo, el suministro semilla (0.1 M por 12 horas)-foliar (4 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. ha^{-1} en 800 L. ha^{-1}) en interacción con la variedad I-San Jacinto mejoro la altura de plantas alcanzando 95.7 cm, al número de espigas por metro cuadrado con 493 espigas m^2 , número de espiguillas (25,33 espiguillas por espiga), número de granos (44 granos por espiga), y también al rendimiento con 4967,8 kg. ha^{-1} . Para la variedad I-Mirador con suministro semilla-foliar, favoreció a la concentración de ácido indol acético fue de 12,4 μg . ml^{-1} , contenido de fitato 30 mg. kg^{-1} , en la misma variedad la concentración de zinc fue de 44,21 mg. kg^{-1} con el suministro edáfico (50 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. ha^{-1})-foliar (4 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. ha^{-1} en 800 L. ha^{-1}). En conclusión, la biofortificación agronómica de zinc en el cultivo de trigo ayuda a mejorar sus características fisiológicas y productivas, y sobre todo es una alternativa innovadora al manejo de cultivo de cereales ya que brinda una producción sin deficiencias de micronutrientes y se consigue alimentos enriquecidos biológicamente.

Palabras clave: BIOFORTIFICACIÓN, CONCENTRACIÓN, ZINC, TRIGO.

Abstract

Zinc is a micronutrient that contributes in several physiological functions of plants; however, its deficiency in soils causes cereal crops to present low concentrations in their final product. The current research aims to evaluate the effect of three combined zinc supplies (seed-edaphic, seed-foliar, edaphic-foliar) on crop yield and flour quality parameters in three wheat varieties (I-San Jacinto, I-Mirador, I-Imbabura). The results showed that, for crop yield parameters, the seed supply (0.1 M per 12 hours)-foliar (4 kg ZnSO₄.7H₂O. ha⁻¹ en 800 L. ha⁻¹) along with the I-San Jacinto variety improved plant height, reaching 95.7 cm., it favored the number of wheat spikes per square meter with 493 spikes m², number of spikelets (25.33 spikelets per spike), the number of grains (44 grains per spike), and obtained a yield of 4967.8 kg. ha⁻¹. The I-Mirador variety with seed-foliar supply showed a better acetic acid concentration (12.4 µg. ml⁻¹), and phytate content (30 mg. kg⁻¹). In contrast, the edaphic supply (50 kg ZnSO₄.7H₂O. ha⁻¹)-foliar (4 kg ZnSO₄.7H₂O. ha⁻¹ en 800 L. ha⁻¹) presented a higher zinc concentration (44.21 mg. kg⁻¹). In conclusion, the agronomic biofortification of zinc in wheat crop helps to improve its physiological and productive characteristics, and above all it is an innovative alternative to cereal crop management since it provides a production without micronutrient deficiencies, and we obtain biologically enriched food.

Keywords: *BIOFORTIFICATION, CONCENTRATION, ZINC, WHEAT.*

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El zinc (Zn) es un micronutriente que participa en varias funciones metabólicas y fisiológicas de las plantas, su deficiencia ocasiona que los cultivos como los cereales (trigo, cebada, maíz) presenten bajas concentraciones de Zn en su producto final y sumada la alta concentración de fósforo (fitatos) aumentan los niveles de ácido fítico, el cual afecta la disponibilidad de absorción del Zinc por el organismo humano, teniendo una ineficiencia en el aprovechamiento nutricional de varios alimentos.(Manzeke *et al.*, 2012)

Los micronutrientes al tener poca movilidad en la planta, su disponibilidad es baja; además, si se tiene suelos alcalinos causa una gran deficiencia de zinc durante el ciclo productivo del cultivo, una forma rápida y eficaz para incrementar los niveles de micronutrientes en un cultivo, es la biofortificación convencional o también conocida como biofortificación agronómica mediante la aplicación de fertilizantes específicos (Cakmak y Kutman, 2018).

La deficiencia de zinc afecta a los niños en crecimiento y a mujeres en estado de gestación, esta población vulnerable se encuentra en los países en vías de desarrollo, siendo el Sudeste asiático el que presenta más deficiencia con un 33.1% seguido de África con 28.2% y Sudamérica con Caribe con 24.8%. Estas deficiencias se dan por el consumo de alimentos diario, los cuales son elaborados con harinas que presentan bajas concentraciones de zinc, sumado al consumo de leguminosas que tienen un alto contenido de fósforo, los cuales aumentan los niveles de ácido fítico y afecta la disponibilidad de absorción de este micronutriente por el organismo (Manzeke *et al.*, 2012).

La biofortificación es un proceso agrícola, el cual se enfoca en el aumento de la cantidad de micronutrientes presentes en las plantas, en conjunto con el fitomejoramiento y la biotecnología moderna se puede llegar a tener plantas de alto rendimiento, cumpliendo con los

requerimientos de la sociedad; sin embargo, estos procedimientos necesitan de años de investigación y aún sigue dependiendo de la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo (Cakmak, 2008).

Según Licto (2017), al aplicar ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) de zinc en dosis de 20 ppm a los 30 días después del corte de igualación en Ray Grass, corrige las deficiencias de Zn. Los fertilizantes que contienen agente quelantes. no son la única alternativa, también se puede ocupar fertilizantes comunes como el sulfato de zinc heptahidratado y sulfato de hierro que son más económicos.

En un estudio realizado por Saltos (2016), donde se evaluó el efecto que produce la adición de sulfato de zinc en papa, analizando principalmente las variables agronómicas, productivas y organolépticas, al suministrar sulfato de zinc heptahidratado en bajas concentraciones (25 kg. ha^{-1}), se mejora las características agronómicas del cultivo y la calidad nutricional de la papa, aumentando la concentración de zinc en pulpa y cascara, mejorando el producto final para la venta.

Justificación

La pandemia por el virus Covid-19, afectó gravemente al sector agrícola, debido a las restricciones sanitarias se ha parado la producción de ciertos cultivos, teniendo un déficit en la producción alimentaria, la cual no cumple con la demanda de la población de varios países, como es el caso de Ecuador, que depende de las importaciones de trigo de países como Rusia, Estados Unidos y Canadá, todo esto para completar su demanda Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP, 2016).

La biofortificación es una herramienta muy versátil ya que incluye tanto técnicas de campo como de laboratorio, pero no todos los países se enfocan en este proceso, como es el caso de Ecuador debido al tiempo de investigación. Es posible aumentar la concentración de zinc en los cultivos de cereales con el uso de fertilizantes tanto edáficos como foliares, ya que al incrementar los niveles de zinc de manera directa en el cultivo, se completarán los

requerimientos necesarios para que la planta alcance su máximo potencial productivo (Gibson, 2006).

En las plantas, un nivel óptimo de zinc ayuda a que cumpla varios procesos metabólicos los cuales influyen en su rendimiento, la concentración de zinc en el cultivo de trigo está fuertemente relacionada con la biosíntesis de proteína, otorgando al grano una mayor calidad en cuanto al contenido nutricional (Tariq *et al.*, 2014).

El trigo es un cultivo adaptable a condiciones adversas, pero necesita de una buena estructura edáfica para un rendimiento óptimo, el suelo debe tener un buen contenido de materia orgánica para la disponibilidad de macro y micronutrientes, la disponibilidad de Zn en el suelo debe estar en un mínimo de 8 mg. kg⁻¹, pero no siempre se contará con ese requerimiento mínimo, por lo que las estrategias de biofortificación agronómica ayudan a complementar estas deficiencias (Cakmak, 2008).

Las variedades de trigo que se manejan en Ecuador son de la especie *aestivum* conocido como harinero, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) trabaja actualmente con 7 variedades que son Chimborazo 78, Cojitambo 92, Zhalao 2003, Vivar 2010, Imbabura, San Jacinto y Mirador las cuales tienen un alto rendimiento y presentan una resistencia parcial a *Fusarium*, estas variedades tienen un porcentaje de proteína de 11 – 12% (Garófalo *et al.*, 2011).

La biofortificación agronómica ayuda a aumentar las concentraciones de micronutrientes en cultivos de cereales, la utilización de fertilizantes en aplicación combinada edáfica-foliar, ayuda a aumentar la concentración de los micronutrientes en granos de maíz y trigo, a comparación de solo utilizar una forma de aplicación (Cakmak, 2008).

Coronado *et al.* (2016), mencionan que la aplicación y dosis de zinc dependen del estado de cultivo y el lugar donde se lleve a cabo, para una aplicación edáfica en suelos francos-arcillosos es favorable la aplicación de 50 kg. ha⁻¹ de ZnSO₄.7H₂O, para una aplicación foliar se utilizan dos aplicaciones de 4 kg. ha⁻¹ de ZnSO₄.7H₂O, una en estado de hoja bandera

y otra al inicio de floración, la aplicación combinada de la fertilización edáfica-foliar dieron como resultado un aumento en el rendimiento del cultivo en un 7% mientras que la concentración de Zn aumentó dando 20 mg. kg⁻¹.

El cebado de semillas de trigo con una solución de 0,5 M de ZnSO₄.7H₂O favorece a la germinación y crecimiento de plántulas, otorgando al rodal un mejor desarrollo y rendimiento al finalizar su ciclo productivo, al utilizar una dosis que pasa el 0,5 M de ZnSO₄.7H₂O las semillas presentan intoxicación y su germinación se ve reducida (Rehman *et al.*, 2015).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de tres métodos de suministro de zinc sobre el rendimiento y calidad nutricional de la harina de tres variedades de trigo (*Triticum aestivum L.*).

Objetivo Específico

Determinar los efectos de los suministros de zinc sobre las variables de rendimiento de tres variedades de *Triticum aestivum L.*

Analizar el efecto del suministro de zinc sobre las variables de calidad nutricional en la harina de tres variedades de *Triticum aestivum L.*

Hipótesis

H0: La concentración de zinc en la harina de trigo de plantas biofortificadas, presentan una similar concentración que la harina de trigo de plantas no biofortificadas con sulfato de zinc.

H1: La concentración de zinc en la harina de trigo de plantas biofortificadas, presentan una diferente concentración que la harina de trigo de plantas no biofortificadas con sulfato de zinc.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Trigo en el mundo y Ecuador

El trigo forma parte de la alimentación básica del ser humano, ya que contiene las proteínas, calorías, vitaminas y minerales necesarios para el crecimiento y desarrollo de las personas en sus diferentes etapas de vida, pero al ser una materia prima muy versátil hay una gran variedad de productos que contienen grandes cantidades de harina de trigo por su precio que es más económico a diferencia de otras harinas, aumentado explosivamente la demanda de este cereal en los países en desarrollo (Yáñez, 2020).

La producción de trigo en el Ecuador en el año 2015 fue baja, llegando solo a las 2.000 toneladas de trigo, lo que alcanza abastecer solo al 3% de la demanda general del Ecuador, en los años posteriores se ha incrementado progresivamente la producción hasta llegar al 2020 con una producción de 15.000 toneladas de trigo; sin embargo, el aumento de la producción no influye en las importaciones que se realiza, en el año 2015 se importó 946.000 toneladas y para el 2020 1.430 miles toneladas; importaciones realizadas de Perú, Argentina, Turquía (Comex, 2022; Index Mundi, 2022).

En los dos años que no se pudo tener las importaciones de los países extranjeros por la emergencia sanitaria COVID-19, Perú, Argentina, Colombia y España se convirtieron en los principales países de exportación de harina de trigo hacia Ecuador, llegando al valor de 1.400 miles de toneladas (Index Mundi, 2022).

Generalidades del cultivo de trigo

Es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las Poáceas, es una especie del género *Triticum* y según su uso puede ser *durum*, *compactum*, *aestivum* (Basantes, 2015).

El trigo es el segundo cereal más cultivado a nivel mundial ya que es la base alimentaria de la población humana, en el Ecuador se tiene diferentes variedades que son adaptables en

un rango de 2000 a 3000 metros de altura siendo las provincias de Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Bolívar las que tienen más áreas de cultivo en producción. Los avances de investigación para el trigo se enfocan en el mejoramiento genético con la selección de genes para otorgar más resistencia a enfermedades como la Roya (*Puccinia triticina*) (Garófalo *et al.*, 2011).

Requerimientos agroclimáticos

Temperatura

El clima ideal se encuentra en las zonas templadas, pero también se puede cultivar en las zonas con altas temperatura, pero se debe controlar adecuadamente la humedad que se genera, el rango de temperatura en el que se cultiva en nuestro país está entre los 8 a 18 °C. Las unidades de calor necesarias para el trigo son de 2200 unidades las cuales se distribuyen 1000 en siembra a floración y 1200 floración a madurez (Quimbiulco, 2014).

Suelo

Requiere de suelos profundos para un buen desarrollo radicular siendo los suelos franco-arcillosos y francos-arenosos los más indicados, dependiendo de la caracterización que se tenga, se puede añadir cierta cantidad de cal para mejorar su composición química, si se tiene un suelo franco y bien drenado no se tendrá problemas durante el ciclo productivo (Quimbiulco, 2014).

Descripción morfológica

La raíz es fasciculada durante todo el ciclo inclusive hasta la maduración, en donde las raíces coronarias que nacen en los nudos que se encuentran en contacto con el suelo son numerosas formando una cabellera (Basantes, 2015).

Su tallo es una caña hueca cilíndrica posee 6 nudos que se alargan en la parte superior, puede alcanzar una altura que va de 50 a 150 cm, dependiendo de la variedad cultivada y su manejo correspondiente, en el último nudo nace la espiga y en cada nudo brota una hoja (Basantes, 2015).

El macollamiento es el incremento del número de tallos o brotes por cepa, es fundamental en el rendimiento del cultivo, nacen de la axila de una hoja. Las hojas tienen una vaina que envuelve al tallo principal, son estrechas y enrolladas en espiral, las hojas que se encuentran en la parte superior son las más anchas y largas, los limbos tienen en la base dos aletas como prolongaciones llamadas aurículas (Basantes, 2015).

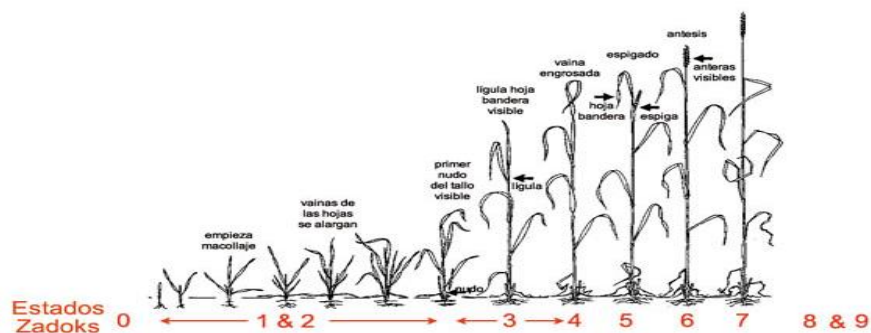
La espiga se forma en el brote terminal del tallo y está formada por un raquis que lleva insertado alternativamente a la derecha e izquierda formando la espiguilla, cada espiguilla tiene de 2 a 5 flores, dando lugar a un único fruto al cual se le llama grano (Basantes, 2015).

Fases de desarrollo según escala Zadoks

Durante el ciclo del cultivo de trigo se tiene varios cambios que pueden ser visibles por el ojo humano pero hay otros que no son tan perceptibles, con la escala Zadoks (Figura 1) se puede describir los diferentes estados morfológicos externos del cultivo, se consideran todas las fases de desarrollo hasta llegar a la madurez, como no todas las plantas llegan a la misma etapa al mismo tiempo, al utilizar la escala Zadoks se dice que una etapa se alcanza cuando el 50% de las plantas llegan a una fase determinada permitiendo tomar mejores decisiones agronómicas como los momentos de aplicación de fertilizantes, herbicidas, control de plagas y enfermedades (Rawson y Macpherson, 2001).

Figura 1

Crecimiento y desarrollo de cultivo de trigo



Nota. El gráfico representa el crecimiento y desarrollo morfológico del cultivo de trigo. Tomado de Rawson y Macpherson (2001)

Descripción de fases

Germinación (0.0 - 0.9) su temperatura óptima está entre 20-25 °C, pero puede germinar desde los 4°C hasta los 30°C, el vigor de germinación decae y llega a sobre pasar los dos años de almacenamiento (Basantes, 2015), Dura aproximadamente 11 días.

Producción de hojas del tallo principal (1.0 - 1.9) en esta etapa de crecimiento se considera desde la emergencia hasta que la planta empieza a macollarse, se debe realizar un buen control de malezas para evitar pérdidas (Rawson y Macpherson, 2001).

Macollo (0.0 - 2.9) inicia cuando el trigo presenta de tres a cuatro hojas, la planta madre es aquella que salió del grano, sus hijos son los tallos secundarios y el macollo es el conjunto de todos los ahijamientos. A bajas temperaturas el crecimiento de hijos y hojas se paraliza. mientras que a temperaturas altas comienza a encañar (Basantes, 2015).

Encañado (3.0 - 3.9) comienza cuando la temperatura empieza a elevarse, los nudos dejan de emitir hijos y comienza a alargar los entrenudos del tallo, el alargamiento finaliza en la fase de madurez hasta ese momento hay una gran extracción de agua y nutrientes del suelo sobre todo de nitrógeno. Dura aproximadamente 62 días (Roset, 2021).

Vaina engrosada (4.0 - 4.9) la planta debe contar con 2 a 3 macollos productivos en función de las condiciones de crecimiento y densidad utilizada, la radiación solar afecta en gran medida al número de granos por unidad de área, cielos muy nublados o nieblas prolongadas afectan en el rendimiento del cultivo (Rawson y Macpherson, 2001).

Espigado (5.0 - 5.9) es el punto máximo de la actividad fisiológico, la transpiración y extracción de agua y nutrientes son constantemente elevados, la espiga está saliendo desde el interior de la hoja bandera (Basantes, 2015). Dura aproximadamente 75 días.

Antesis (6.0 - 6.9) el polen es liberado y los granos individuales están siendo fertilizados, el control de riego debe ser constante para evitar el estrés. Dura aproximadamente 5 días (Roset, 2021).

Estado lechoso del grano (7.0 - 7.9) el grano al ser apretado desprende una solución lechosa, las hojas inferiores comienzan a secarse y las superiores con el resto de la planta tienen una tonalidad verde, el estrés hídrico afecta gravemente a la producción del grano (Rawson y Macpherson, 2001).

Estado pastoso del grano (8.0 - 8.9) el grano al ser apretado se deforma ligeramente pero ya no desprende solución lechosa, los nudos son los únicos que se mantienen verdes y el resto de la planta toma el color típico del trigo (amarillo) al igual que su grano, la falta de agua afecta al tamaño del grano y su rendimiento (Rawson y Macpherson, 2001).

Maduración (9.0 - 9.9) el grano está completamente duro, firme y listo para la cosecha, debe contener una humedad máxima del 14% para no tener problemas de almacenamiento, el control de plagas como roedores o aves debe ser inmediato (Basantes, 2015). Dura aproximadamente 40 días.

Variedades

INIAP-Mirador 2010

Tiene una buena calidad para panificación desarrollada por INIAP, resultado de una cruce entre Tinamou-Milan, realizado por INIAP Santa Catalina (Rivadeneira *et al.*, 2010).

Presenta las siguientes características (Tabla 1).

Tabla 1

Caracterización variedad de trigo I-Mirador 2010

Característica	Descripción	Característica	Descripción
Número de macollos	6	Tamaño de espiga	11 cm
Número de granos por espiga	47	Ciclo de cultivo	170 - 180 días
Tipo de espiga	Barbada compacta	Rendimiento	4 t. ha ⁻¹
Color de grano	Blanco	Resistencia parcial	Roya
Altura de planta	92 cm	Proteína	11 - 12 %

Nota. Trigo variedad INIAP-Mirador 2010. Recuperado de Rivadeneira *et al.* (2010).

INIAP-San Jacinto 2010

Buena calidad para panificadoras se originó en el centro de mejoramiento de maíz y trigo, su cruce fue entre Ser-Attila, evaluada en INIAP Santa Catalina (Falconi *et al.*, 2010). Presenta las siguientes características (Tabla 2).

Tabla 2

Caracterización variedad de trigo I-San Jacinto 2010

Característica	Descripción	Característica	Descripción
Número de macollos	6	Tamaño de espiga	10 cm
Número de granos por espiga	46	Ciclo de cultivo	160 - 170 días
Tipo de espiga	Barbada compacta	Rendimiento	4 t. ha ⁻¹
Color de grano	Blanco	Resistencia parcial	Roya
Altura de planta	88 cm	Proteína	11 - 12 %

Nota. Trigo variedad INIAP-San Jacinto 2010. Recuperado de Falconi *et al.* (2010).

INIAP-Imbabura

Línea de trigo harinero desarrollado en el centro internacional de mejora de maíz y trigo, analizada en INIAP Santa Catalina, (Falconi *et al.*, 2014). Presenta las siguientes características (Tabla 3).

Tabla 3

Caracterización variedad de Trigo I-Imbabura

Característica	Descripción	Característica	Descripción
Número de espiga por m ²	300	Tamaño de espiga	11 cm
Número de granos por espiga	45	Ciclo de cultivo	160 - 180 días
Tipo de espiga	Compacta	Rendimiento	4 t. ha ⁻¹
Color de grano	Rojo	Resistencia parcial	Roya
Altura de planta	105 cm	Proteína	12,7 %

Nota. Trigo variedad INIAP-Imbabura. Recuperado de Falconi *et al.* (2014).

Manejo del cultivo

Preparación del suelo

Preparación no menos de dos meses antes de la siembra para garantizar una adecuada descomposición de malezas y abonos orgánicos aplicados, una buena remoción del suelo ayudará a controlar las plagas que pueden existir en el terreno (un pase de arada, dos rastras), (Garófalo *et al.*, 2011).

Siembra

Debe iniciar en la época de lluvia planificando que la cosecha coincida con la época seca para no tener pérdidas de grano, en el norte y sur del Ecuador se recomienda la siembra entre febrero-marzo, mientras que para el centro lo recomendable es de noviembre-enero. El suelo debe estar a capacidad de campo para garantizar la germinación de la semilla, se puede realizar al voleo o utilizando una sembradora considerando que la profundidad a la que se siembra no debe pasar los 5 cm para evitar el ahogamiento y pérdidas de semilla (Garófalo *et al.*, 2011).

Densidad de siembra

Varía de acuerdo al método de siembra utilizado en caso de sembrar al voleo lo estimado es 180 kg. ha⁻¹ y para siembra mecanizada 150 kg. ha⁻¹. La utilización de semilla certificada o registrada garantizara una buena producción, la semilla debe estar desinfectada para controlar enfermedades que se transmiten por este medio (Garófalo *et al.*, 2011).

Fertilización

En caso de no contar con análisis de suelo se puede utilizar una fertilización base, propuesta por Garófalo *et al.* (2011), que es, a la siembra 150 kg. ha⁻¹ de 18-46-00 y 50 kg. ha⁻¹ de sulpomag y al macollamiento 3 sacos de urea. Los requerimientos nutricionales presentados en la (Tabla 4) son para la producción de una tonelada de grano de trigo, sin embargo, se debe tener en cuenta la época de siembra y cosecha para no disminuir la producción esperada (Agroestrategias consultores, 2014).

Para mejorar la fertilidad del suelo (condiciones química, física y biológica) se puede hacer un abonado orgánico con estiércol, compost de buena de calidad (origen conocido), se puede usar 40 sacos de 50 kg. ha⁻¹, el abono debe ser incorporado al momento de preparación de terreno, es decir dos meses antes de la siembra (Garófalo *et al.*, 2011).

Tabla 4

Requerimiento nutricional para producir una tonelada de grano de trigo

Macronutrientes	Requerimiento (kg. ha⁻¹)
Nitrógeno	31
Fósforo	11
Potasio	26
Calcio	3
Azufre	4.2
Micronutrientes	Requerimiento (g. ha⁻¹)
Hierro	137
Zinc	52

Nota. Macro y micro nutriente para el cultivo de trigo. Recuperado de Agroestrategias consultores (2014).

Control de malezas

Si se observa una gran cantidad de Kikuyo se recomienda aplicar glifosato en una dosis de 2 L. ha⁻¹ antes de la preparación del terreno, cuando el cultivo ya esté establecido el control manual debe ser después del macollamiento (50 - 60 días de la siembra), si se utiliza el control químico se debe aplicar herbicida específico para malezas de hoja ancha como el metsul-furon-metil que se debe aplicar al inicio del macollamiento (30 - 40 días después de la siembra), (Garófalo *et al.*, 2011).

Enfermedades

La más importante en la Sierra Ecuatoriana es la Roya amarilla (*Puccinia striiformis*) que se presenta a los 70 – 90 días después de la siembra formando líneas amarillas en hojas

paralelas a las nervaduras y Roya de hoja (*Puccinia triticina*) aparece cuando se tiene climas templados muy húmedos, los síntomas es cuando se observan pequeñas pústulas aisladas con esporas de color anaranjado (Garófalo *et al.*, 2011).

Las enfermedades que afectan a la espiga son Fusarium (*Fusarium spp.*) y Carbón volador (*Ustilago tritici*) los cuales inician su infección al iniciar la floración y continúan hasta el final del ciclo, afectando al ovario y a la espiga, reduciendo la producción del cultivo a la mitad (International Plant Nutrition Institute, 2017).

Se recomienda la aplicación de Propiconazole en una dosis de 0,5 L. ha⁻¹ y la utilización de variedades parcialmente resistentes a la Roya, desinfectar las semillas antes de su siembra ayuda a controlar el carbón y fusarium (Garófalo *et al.*, 2011).

Cosecha y Trilla

La cosecha se la realiza cuando el cultivo alcanza su madurez de campo, el tiempo de cosecha es según la variedad utilizada pero la mayoría es cercana a los 6 meses, para pequeñas superficies se puede realizar la cosecha manual usando una hoz, se corta las plantas para formar gavillas las cuales se agrupan para formas parvas y poder trasladarlas al lugar de trilla (Ponce *et al.*, 2022).

La trilla se la puede hacer usando una trilladora estacional, pero también se la puede realizar de forma manual usando animales o una rama grande llamada era, la cual con la fuerza necesaria ayuda a la separación del grano de la espiga fácilmente. Para finalizar se debe secar, limpiar y clasificar el grano para recolectarlos en sacos y almacenarlos (Ponce *et al.*, 2022).

Síntomas de deficiencia de Zinc

Tienen un desarrollo lento por lo que sus hojas son pequeñas, presentan clorosis internerval que se inicia en las hojas jóvenes, dejándolas verdes a los extremos de las hojas, en la zona media aparecen manchas verdes grisáceas que a medida se hace más severa la deficiencia afecta a toda la hoja, doblándola en su región media (Sharma, 2017).

Biofortificación

Es un proceso para mejorar las características agronómicas y nutricionales de un cultivo en específico otorgando una mayor calidad a los diferentes productos elaborados que se encuentran en el mercado. Las estrategias más conocidas son el fitomejoramiento convencional, fitomejoramiento con biotecnología moderna, la convencional mejora solo una característica ya sea nutricional o agronómica utilizando diferentes estrategias durante el manejo del cultivo utilizando fertilizantes con un elemento específico y la dosis adecuada para no alterar su desarrollo fisiológico (Monserate *et al.*, 2009).

El proceso de biofortificación es largo y se enfoca en seleccionar los cultivos con más demanda y que ya procedan de un mejoramiento previo contando con buenas características agronómicas y nutricionales, con la cantidad de muestras necesarias se realizan diferentes investigaciones en donde se aumentan aminoácidos o microelementos que se encuentran en bajas proporciones como es el caso de los cereales en donde el aminoácido limitante es la lisina y triptófano, se encontró un gen recesivo el cual aumenta estos aminoácidos, mediante la manipulación de genes, con estos ensayos se puede obtener nuevas variedades funcionales bioquímicamente (Pachón, 2010).

Para garantizar la seguridad alimentaria se han realizado varios proyectos de biofortificación con zinc, específicamente en los cereales de consumo diario como el maíz, cereal y cebada, el fertilizante más usado es el de sulfato de zinc heptahidratado aplicado al suelo, semilla, foliar y combinado (Reynolds, 2020).

Métodos de biofortificación

Aplicación edáfica

Es la práctica más usada para cubrir las deficiencias de Zn en el suelo, aumenta el contenido de zinc en grano en un 70% (Reynolds, 2020). Su aplicación es recomendable una semana previa a la siembra con una dosis aproximada de 50 kg de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (Coronado *et al.*, 2016)

Aplicación en semillas (inmersión)

Ayuda a aumentar el vigor y tolerancia a factores adversos garantizando una buena producción, pero no influye en la concentración de Zinc en grano al final del ciclo productivo, (Reynolds, 2020). El proceso de cebado de semillas tiene buenos resultados al usar 0.5 M $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mejorando su establecimiento y crecimiento temprano de plántulas (Rehman *et al.*, 2015)

Aplicación Foliar

Reynolds (2020) menciona que es la estrategia más utilizada por tener un aumento de concentración de zinc en grano, aumentando cerca del 80% en el contenido final de zinc, su aplicación recomendada es dos dosis de 4 kg de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ al inicio de floración y en etapa de grano lechoso.

Importancia de Zinc en plantas y humanos

El Zn en el cultivo de trigo influye directamente en la fase de crecimiento y biomasa acumulada, se tiene problemas principalmente por la composición del suelo ya que muchas veces se encuentra que hay una baja disponibilidad de zinc, pero una elevada disponibilidad de fósforo, la falta de MO contribuye a que el zinc no se encuentre disponible para el cultivo (Mousegne *et al.*, 2015).

Participa en varios procesos enzimáticos y en la estabilidad de iones metálicos ligados a diferentes estructuras internas, también participa en la biosíntesis de auxinas (ácido indolil-3-acético) muy importante en el ciclo de crecimiento del cultivo, es absorbido en forma de ion divalente (Zn^{+2}) por lo que es intercambiable en el suelo (Manangón, 2014).

El Zn en el ser humano afecta en el periodo de desarrollo infantil (crecimiento) y también en las personas adultas cuya dieta actualmente tiene grandes vacíos de Zn contribuyendo a su deficiencia, investigaciones indican que cerca de una quinta parte de las personas del mundo presentan carencias de zinc por lo que se está proponiendo mejorar los

alimentos básicos como cereales dando un manejo adecuado del cultivo utilizando fertilizantes que influyen directamente en los contenidos de zinc y hierro (Dibb *et al.*, 2010).

Sulfato de Zinc

Fertilizante que corrige y previene la deficiencia de zinc en los cultivos dañados por las bajas concentraciones de este microelemento, ayuda a estimular los diferentes procesos enzimáticos como es la formación de los reguladores de crecimiento y desarrollo de tejidos nuevos, su dosis está en base al requerimiento del cultivo y el tipo de suelo en el que se esté trabajando (disponibilidad de zinc en suelo) (Fermagri, 2023).

Puede ser tóxico para varios organismos como los invertebrados acuáticos, peces y plantas, llegando a irritar los ojos, piel y pulmones, es importante seguir las recomendaciones del fabricante y utilizar las dosis adecuadas de agua para su mezcla en caso de tener el fertilizante en un lugar cerrado se debe utilizar el equipo de bioseguridad especialmente de cara (Sembralia, 2021).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Ubicación

La investigación se realizó en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se encuentra en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Fernando en la Hacienda el Prado.

Geográficamente se encuentra a $78^{\circ}24'54''$ de longitud y $0^{\circ}23'03''$ de latitud con una altitud de 2728 m.s.n.m. (Arce, 2009).

Figura 2

Ubicación geográfica IASA 1



Nota. Representación geográfica del lugar de investigación. Tomado de Google Maps (2023).

Condiciones climáticas

La estación meteorológica ubicada en el predio de la hacienda “El Prado” (IASA 1), proporcionó los datos climáticos históricos mencionados por (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – EPMAPS y Fideicomiso Fondo para la Protección de Cuencas y Agua - FONAG, 2022) permitiendo definir la época de siembra del cultivo haciendo coincidir con el mes de precipitaciones (enero) y el mes de menor precipitación para la época de cosecha (julio) considerando los 6 meses del ciclo del cultivo (Tabla 5).

Tabla 5

Datos climáticos históricos 2001 – 2020 de la estación “C08-IASA”

Mes	Tm	Tmax	Tmin	HR	P
	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)
Enero	13,18	19,61	8,93	84	124,4
Febrero	13,57	20,48	9,11	83	212,8
Marzo	12,57	19,04	9,04	88	251,9
Abril	13,02	19,99	8,41	84	181,8
Mayo	13,35	20,7	9,19	82	116,9
Junio	ND	ND	ND	ND	71,2
Julio	ND	ND	ND	ND	16,6
Agosto	ND	ND	ND	ND	44
Septiembre	13,05	20,39	7,46	70	105,6
Octubre	12,58	20,77	7,72	83	197,3
Noviembre	12,85	20,07	9,01	85	193,8
Diciembre	13,46	20,39	9,26	86	122,1

Nota. Tm (temperatura media), Tmax (media de la temperatura máxima mensual), Tmin (media de las temperaturas mínimas mensuales), HR (media mensual de la humedad relativa), P (precipitación). Recuperado de EPMAPS y FONAG (2022).

Material y métodos

Preparación de suelo

Una vez asignado el lote para la investigación, se delimito el área del ensayo que tuvo 10,5 m de ancho x 28,5 m de largo, se usó tractor con un paso de arada y de rastra para eliminar rastros de cultivos anteriores y de malezas, en el área limpia se procedió a sembrar una mezcla de vicia y avena para incorporación de nitrógeno biológico y control de malezas, estas actividades se realizaron con dos meses de anticipación a la siembra

Tres semanas antes de la siembra se recolectó submuestras de suelo en forma de zigzag de todo el terreno a una profundidad de 30 cm, las submuestras se mezcló homogéneamente y se tomó una muestra de 1 kg con el propósito de enviar al laboratorio de suelos de INIAP y se determinó los macros y micro nutrientes existentes, seguido se cortó y se retiró la mezcla de avena y vicia con moto guadaña, posteriormente se realizó labores manuales de limpieza del terreno con el fin de soltar el suelo y retirar las malezas sobrantes.

Trazado de parcelas

Se trazaron las parcelas siguiendo las dimensiones del croquis del diseño de bloques completamente al azar (DBCA) del ensayo, las medidas de la unidad experimental fueron de 2 m de ancho x 2,5 m de largo (5 m²) de acuerdo a (Reyes, 1990), el distanciamiento entre surcos fue de 19 cm, cada parcela tuvo un total de 10 surcos, entre cada bloque se trazó un camino de 1 m de separación.

Siembra

Las semillas de trigo (*Triticum aestivum L.*) que se utilizaron para este ensayo, fueron: I-San Jacinto 2010, I-Mirador 2010 e I-Imbabura, estas fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC).

Se realizó de forma manual al voleo con una densidad de 180 kg. ha⁻¹ (90 g. parcela⁻¹), lo que dio un aproximado de 2160 plantas por unidad experimental, las semillas fueron previamente desinfectadas con Vitavax (dosis 1 g. kg de semilla⁻¹).

Fertilización

Se aplicó tomando en cuenta el análisis de suelo realizado y utilizando los fertilizantes recomendados por Garófalo *et al.* (2011), se aplicó a la siembra 100 kg. ha⁻¹ de 12-61-00 (50 g. parcela⁻¹) y 50 kg. ha⁻¹ de sulphomag Manuchar (25 g. parcela⁻¹), al macollamiento 75 kg. ha⁻¹ de urea (37,5 g. parcela⁻¹) y al espigamiento 75 kg. ha⁻¹ de urea (37,5 g. parcela⁻¹).

Manejo del cultivo

Para el suministro se utilizó sulfato de zinc heptahidratado cuya composición es 11% azufre y 22% de zinc, el cual se lo adquirió en la casa del químico, con las recomendaciones propuestas por Coronado *et al.* (2016) y Reynolds (2020), se utilizó las dosis, cebado de semillas $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 0.1 M por 12 horas antes de siembra ($6 \text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{L agua}^{-1}$).

Fertilización edáfica $50 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ previo a la siembra ($25 \text{ g} \cdot \text{parcela}^{-1}$).

Fertilización foliar dos dosis de $4 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ en $800 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($2 \text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot 400\text{ml agua}^{-1}$) al inicio de floración y en etapa de grano lechoso en la mañana para evitar quemaduras de la planta

El control de pájaros se realizó de forma tradicional utilizando un espantapájaros en la mitad del terreno y con dos ahuyentadores ultrasónicos para aves de la marca Garden Secrets, el dispositivo tiene un sensor de infrarrojos pasivo que detecta el movimiento en un rango de 7,5 – 10 m de largo en un ángulo de 110° , al detectar un movimiento se activa el parlante ultrasónico que emite una frecuencia de 13,5 – 45,5 KHZ, la cual es ajustable para el tipo de animales a ahuyentar, funciona con energía solar y pilas recargables, por lo que su función es de veinticuatro horas (Secrets, 2021).

Para el control de malezas se utilizó el herbicida *Metsulfuron methyl* (Matancha 600) de Agripac, con una dosis de $15 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($0,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) tres semanas después de la siembra, cada semana se realizó limpieza manual de caminos y bordes del área de estudio para evitar la expansión de malezas, al inicio del espigamiento se realizó un desmalezado manual en cada unidad experimental.

La aplicación de fungicidas se realizó de forma preventiva cada 15 días a partir de la cuarta semana después de la siembra debido a las condiciones climáticas que eran muy variables, al inicio del espigamiento se aplicó insecticidas preventivos, para la aplicación de los

productos se utilizó una bomba manual de 8 L, y se la realizó en horas de la mañana para evitar daños al cultivo por quemaduras o lavado del producto por las lluvias.

Cosecha

Se realizó de forma manual, al observar la maduración de las diferentes variedades que fue aproximadamente a los 6 meses, primero se cosechó las plantas de los bordes de cada unidad experimental, dejando en el centro el metro cuadrado representativo para la toma de datos respectivos, finalizado la toma de datos de cada unidad experimental, se cosechó totalmente cada parcela, y se formó parvas, para después hacer la trilla.

Trilla y secado

Se realizó trilla manual de cada tratamiento, se separó la espiga de cada tallo y se la colocó en un saco de tela, se golpeó con una era fuertemente sacando así los granos, posterior se limpió el resultado de la trilla con una secadora dejando solo los granos. Los granos resultantes se los colocó en fundas de papel y se dejó secar al ambiente hasta llegar a una humedad inferior al 14%.

Harina

Se molió los granos de trigo manualmente, se depositó 60 gr de granos de trigo en el molino, progresivamente se ajustó el molino hasta llegar a obtener un polvo de color crema, con un tamiz se separó la harina y los restos sobrantes de la molienda, la harina resultante se guardó en bolsas de papel para su posterior análisis.

Análisis estadístico

Factores y tratamientos

Considerando los dos factores de estudio que son las variedades de trigo (A) y suministros de zinc (B) los tratamientos y códigos de identificación se presentan en a continuación (Tabla 6).

Tabla 6

Descripción de los tratamientos para la investigación

Descripción	Tratamiento	Codificación
I-San Jacinto 2010 sin suministro	1	A1B0
I-San Jacinto 2010 con suministro semilla-edáfico	2	A1B1
I-San Jacinto 2010 con suministro semilla-foliar	3	A1B2
I-San Jacinto 2010 con suministro edáfico-foliar	4	A1B3
I-Mirador 2010 sin suministro	5	A2B0
I-Mirador 2010 con suministro semilla-edáfico	6	A2B1
I-Mirador 2010 con suministro semilla-foliar	7	A2B2
I-Mirador 2010 con suministro edáfico-foliar	8	A2B3
I-Imbabura sin suministro	9	A3B0
I-Imbabura con suministro semilla-edáfico	10	A3B1
I-Imbabura con suministro semilla-foliar	11	A3B2
I-Imbabura con suministro edáfico-foliar	12	A3B3

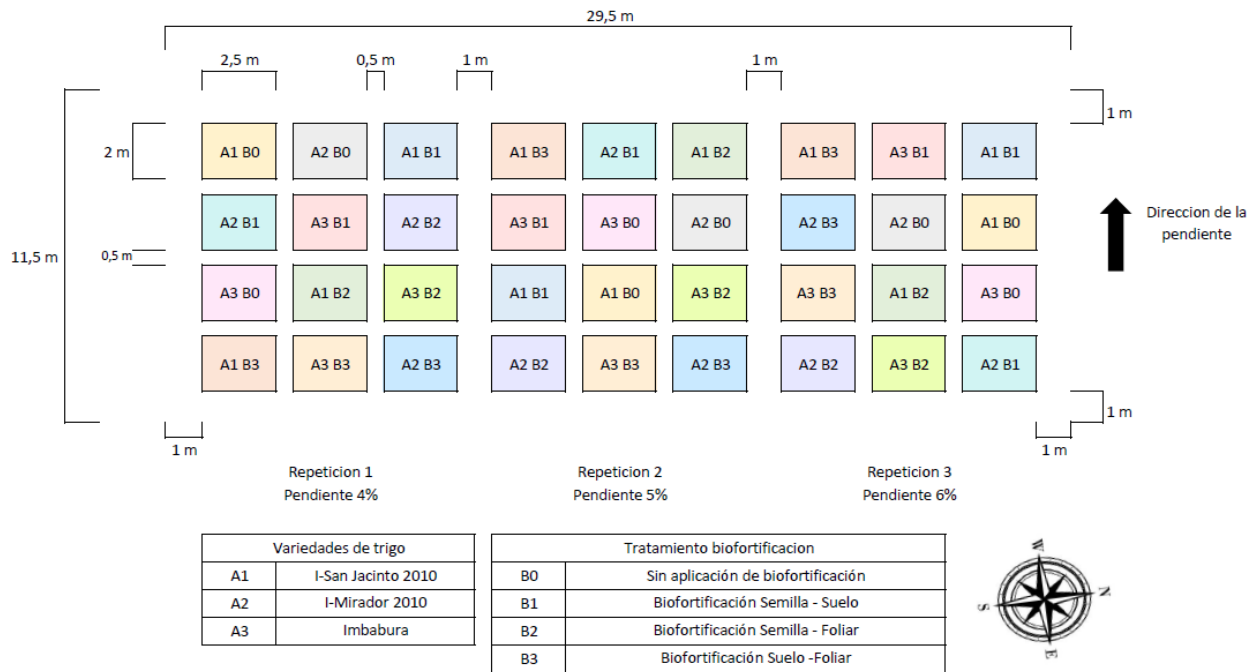
Nota. Variedades y suministros de zinc para cada tratamiento evaluadas en la investigación. Autoría propia.

Croquis experimental

El área de investigación total fue de 339,25 m², en donde se delimitaron las unidades experimentales, con sus respectivas repeticiones, considerando la pendiente para la distribución de los bloques respectivos (Figura 3).

Figura 3

Croquis experimental del ensayo



Nota. Autoría propia

Los datos de rendimiento y calidad de harina son analizados mediante estadística descriptiva, se consideró los promedios y desviación estándar. Para comparar las variables de estudio entre tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño experimental en bloques completamente al azar (DBCA) bifactorial 3x3, y 3 repeticiones, el modelo matemático que se adaptara es:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + C_k + AC_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Concentración de zinc en grano de trigo de la ijk -ésima unidad experimental

μ = Media general de la concentración de zinc en grano de trigo

B_i = Efecto del i -ésimo bloque

A_j = Efecto del j -ésimo nivel de la variedad de trigo sobre la concentración de zinc

C_k = Efecto del k -ésimo nivel del suministro de zinc sobre la concentración de zinc

AC_{jk} = Efecto de la interacción entre variedad y suministro de zinc sobre la concentración de zinc en grano de trigo

ϵ_{ijk} = Error experimental asociado a la ijk-ésima unidad experimental

Para la comparación de medias de los datos tomados en campo se utilizó prueba de Tukey al 5% y para las de laboratorio Duncan al 5%, todos los análisis se realizaron con el programa estadístico INFOSTAT.

Variables a evaluar

Se evaluaron ocho variables de rendimiento del cultivo (altura de plantas, enfermedades del cultivo, nivel de ácido indol acético en raíces, número de espigas, número de espiguillas, número de granos por espiga, humedad de grano y rendimiento de cultivo) y dos variables de calidad de harina (concentración de Zinc y contenido de fitato) del cultivo de tres variedades de trigo con tres suministros de sulfato de zinc.

Rendimiento del cultivo

Altura de plantas

Antes de la cosecha se midieron las alturas de cinco plantas aleatoriamente de todas las unidades experimentales, con un flexómetro se tomó la medida desde la base de la planta hasta la punta de la espiga

Enfermedades del cultivo

Se realizaron observaciones de cada unidad experimental cada semana desde la siembra, al primer síntoma observado se consideró como dato de enfermedad y se registró.

Concentración de ácido indol acético (AIA) en $\mu\text{g. ml}^{-1}$ de raíces de trigo

Para la concentración de ácido indolacético (AIA) se utilizó el procedimiento propuesto por Salkowski, (Disque, 1879). El cual fue modificado para raíces por Licto (2017). Se preparó el reactivo Salkowski utilizando 0,5M de FeCl_3 , 49 ml de agua destilada y 49 ml de ácido perclórico.

Las muestras para el análisis se las obtuvo de las raíces del cultivo a la semana 16 después de la siembra, se extrajo de 7-10 plantas completas, seleccionadas aleatoriamente de cada una de las doce unidades experimentales de cada repetición en la mañana con la finalidad de evitar la explosión a la luz.

Se lavó con abundante agua la parte radicular de las plantas retirando el exceso de tierra, se cortó con tijeras cuidadosamente y se colocó en tubos de ensayo cubiertos de aluminio con acetona al 80% y se dejó reposar por cinco días a -4°C para mejorar la extracción y evitar la degradación del AIA.

Se pesó 1 gramo de raíz y se procedió a macerar, cortando finamente las raíces y aplastándolas, con la ayuda de un embudo y papel filtro se obtuvo el líquido concentrado de las muestras, el líquido se transfirió a tubos de ensayo cubiertos con aluminio y se añadió 2,5 – 3 ml de reactivo Salkowski, se centrifugó las muestras por 5 min a 500 RPM, finalmente las muestras fueron llevadas a un cuarto oscuro para medir la absorbancia a 549 nm en el espectrofotómetro.

Para el cálculo de la cantidad de AIA en $\mu\text{g. ml}^{-1}$ se utilizó la siguiente ecuación

$$\text{Concentración de AIA } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}}\right) = \frac{Y - 0,002}{0,009}$$

Donde:

Y = Dato obtenido al medir en el espectrofotómetro

Número de espigas, espiguillas y granos

Antes de la cosecha total de las parcelas, se contabilizaron las espigas por metro cuadrado, posteriormente se tomó 10 espigas aleatoriamente y se contaron el número de espiguillas y granos.

Humedad de grano

Se utilizó el método de estufa en laboratorio siguiendo las reglas Internacionales aprobadas por la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA), se pesó 10 gr de

muestra de semillas de trigo por cada tratamiento, se colocaron en fundas de papel y se las puso en el horno a una temperatura de 103°C por 24 horas (Arias *et al.*, 1993). Se obtuvo el porcentaje de humedad utilizando la siguiente formula.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Donde:

P_i = peso de la muestra antes del secado

P_f = peso de la muestra después del secado

Rendimiento de cultivo de trigo (kg. ha⁻¹)

Se calculó tomando en cuenta el rendimiento por parcela de cada unidad experimental, y considerando el porcentaje de humedad que se obtuvo de cada tratamiento previamente, el rendimiento en kg. ha⁻¹ se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$R_c = P_c * \frac{10000}{A_{nc}} * \frac{100-HC}{100-HE}$$

Donde:

R_c = Rendimiento en kg/ha

P_c = Peso de campo o peso de rendimiento fresco en kg

A_{nc} = Área neta cosechada en m²

HC = Humedad de cosecha

HE = Humedad estándar

Calidad de harina

Preparación de muestras

Se cosechó el trigo de cada unidad experimental, seguido se realizó trilla manual para la obtención de los granos, se limpió y seleccionó 100 gramos de sub-muestra representativa de la muestra cosechada, se molió manualmente y se obtuvo la harina para los respectivos análisis

Concentración de zinc en harina

Para la concentración de zinc se utilizó 3 gramos de harina de cada muestra de las unidades experimentales, se quemó las muestras en una estufa a 500°C, posteriormente se calcinó las muestras en una mufla a 600°C durante 4 horas, seguido se agregó 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 2 ml de agua destilada, para llevarlo a la estufa hasta ebullición. Después de enfriar se hizo un filtrado doble con papel filtro en matraces de 50 ml, y se aforo con agua desionizada (Wei *et al.*, 2012).

Para determinar la concentración de zinc se ocupó el Test en cubetas cinc de Spectroquant de la compañía Merck (2023), se formó una solución alcalina en donde los iones cinc reaccionaron con piridilazoresorcina formando un complejo rojo y ayuda a su lectura con el espectrofotómetro.

Para hacer la mezcla muestra-reactivo se colocó 10 ml de muestra en un tubo de ensayo y se agregó 1 microcuchara del reactivo Zn-1K, se mezcló bien hasta que esté completamente disuelto.

En las cubetas de reacción que contienen cianuro potásico se agregó 0,50 ml del reactivo Zn-2K, se tapó y agito por 3 min. En la misma cubeta de reacción se colocó 2 ml de la mezcla muestra-reactivo, finalmente se añadió 5 gotas del reactivo Zn-3K, se tapó y agito por 3 min. Las cubetas de reacciones preparadas se dejaron en reposo por 15 min para que reaccione, y la lectura (mg. L^{-1}) se realizó en el espectrofotómetro con la programación ya establecida por el kit.

Contenido de fitato (mg. kg^{-1})

Se extrajo 2 gramos de harina de cada muestra de las unidades experimentales y se mezcló con 50 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 2% en matraces de 125 ml y se llevó a la incubadora con agitador orbital por 3 horas (20°C a 100 rev), posteriormente se filtró con papel whatman número 1, el filtrado se mezcló con 2,5 ml de reactivo tiocianato de amonio al 3% y se completó la mezcla con 27 ml de agua destilada. Se realizó la titulación con cloruro férrico con

una concentración de 1,95 mg. ml⁻¹, se añadió progresivamente y se agitó la mezcla hasta obtener una coloración amarillenta parduzca, el contenido de fitato se calculó considerando las ecuaciones presentadas por (Abulude, 2005).

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

$$\text{Fitato} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \text{Fitato de fosforo} * 3,65$$

Biodisponibilidad

Con los datos obtenidos de concentración de zinc y contenido de fitato se hizo el análisis de relación molar fitato:zinc considerando la fórmula de (Keith, 2016).

$$\text{Relación molar fitato:zinc} = \frac{\frac{\text{mg fitato}}{660}}{\frac{\text{mg zinc}}{65,4}}$$

El resultado de la relación molar F:Zn se relacionó con los porcentajes de biodisponibilidad de zinc para la dieta en humanos presentado por (Borelli *et al.*, 2007) (Tabla 7).

Tabla 7

Relación molar entre AF:Zn y su biodisponibilidad de Zinc en porcentaje

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

Nota. Zinc biodisponible en el organismo humano considerando la relación fitato/zinc. Recuperado de Borelli *et al.* (2007)

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de rendimiento

A continuación, se presenta un cuadro resumen de cada análisis de varianza según las variables evaluadas relacionadas con el rendimiento del cultivo de trigo.

Tabla 8

ANAVA`s para variables agronómicas y presencia de enfermedades en tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

F de V	Gl	Altura de planta (cm)	Enfermedades	AIA (µg. ml-1)	Número de espigas	Número de espiguillas	Número de granos	Humedad (%)	Rendimiento (kg. ha-1)
Bloque	2	3,69 ns	3,36 ns	7,30 ns	2194,78 ns	11,44ns	30,19 ns	25,26 ns	773251,9 ns
Variedad	2	421,76*	137,69*	16,13*	3608,69 ns	77,19*	142,53*	27,94 ns	2650929,1*
Suministro	3	18,89 ns	5,51 ns	5,29 ns	7378,47*	7,58*	50,89*	12,41 ns	865600,23 ns
Var x Sum	6	12,49 ns	3,62 ns	7,96 ns	3125,92 ns	7,64*	36,86 ns	8,68 ns	748055,33 ns
Error	23	25,02	10,24	3,49	1791,17	2,32	15,26	19,11	429229,51
Total	35								

Nota. Cuadrados medios de los factores de variación según la variable de respuesta evaluada, (*) significancia estadística (ns) ninguna significancia estadística. Autoría propia.

Altura de plantas

El ANAVA para la variable altura de plantas de trigo, registra significancia estadística para el factor variedad ($F=16,86$; valor- $p= <0,0001$), y ninguna significancia para el factor suministro de sulfato de zinc, ni para la interacción variedad x suministro. El coeficiente de variación fue de 5,70% (Tabla 8).

Al analizar estadísticamente las alturas de plantas de trigo, las variedades I-San Jacinto e I-Mirador presentaron una altura significativamente mayor comparado con la variedad I-Imbabura (Tabla 9).

Tabla 9

Altura de plantas (cm) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

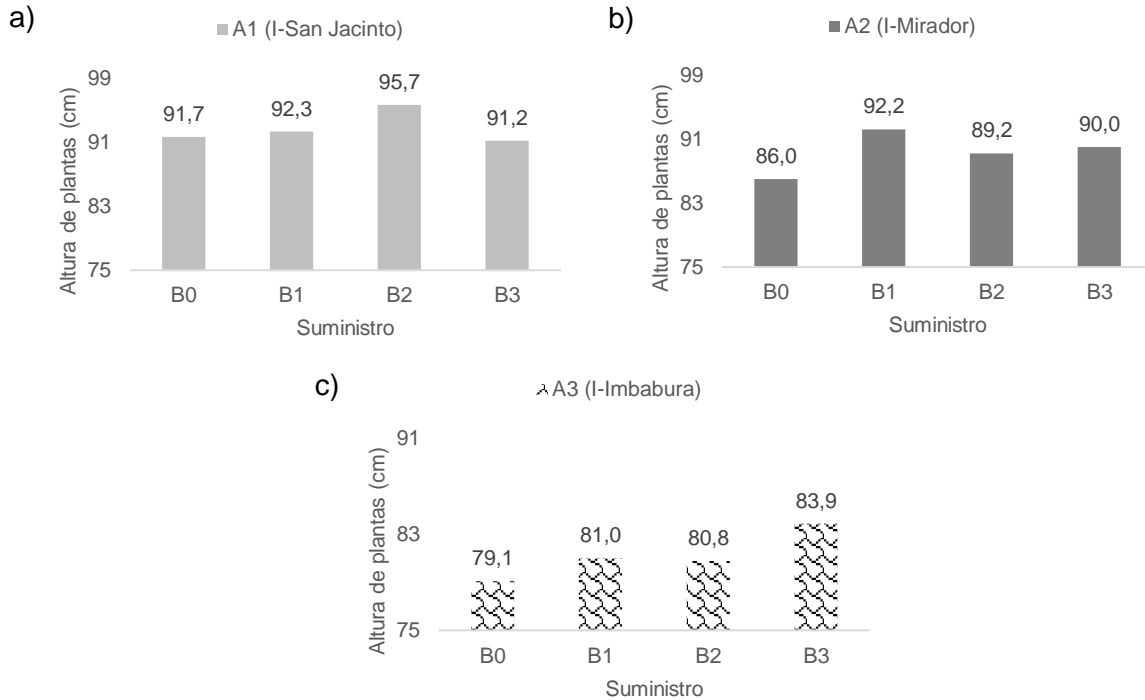
Variedad	Altura de planta (cm)	Rangos
A1 (I-San Jacinto)	92,72 ± 4,58	a
A2 (I-Mirador)	89,37 ± 5,65	a
A3 (I-Imbabura)	81,19 ± 3,14	B

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Aunque no se presentaron diferencias estadísticas para la interacción variedad x suministro, se puede apreciar que, el suministro semilla–foliar de sulfato de zinc en la variedad I-San Jacinto exhibió la mayor altura con un promedio de 95,7 cm, frente al tratamiento sin suministro (Figura 4).

Figura 4

Altura de plantas de trigo (cm) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: a) variedad I-San Jacinto, b) variedad I-Mirador, c) variedad I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla- foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia.

Concentración de AIA en raíces ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)

El ANAVA para la variable contenido de ácido indol acético en raíces de trigo, registra significancia estadística para el factor variedad ($F=4,57$; valor- $p= 0,0219$), y ninguna significancia para el factor suministro sulfato de zinc, ni para la interacción variedad x suministro. El coeficiente de variación fue de 19,76% en los resultados (Tabla 8).

Al analizar estadísticamente el contenido de AIA en raíces, las variedades I-Mirador) e I-San Jacinto presentaron un contenido de ácido indol acético significativamente mayor comparado con la variedad I-Imbabura (Tabla 10).

Tabla 10

Contenido de ácido indol acético ($\mu\text{g. ml}^{-1}$) en raíces de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

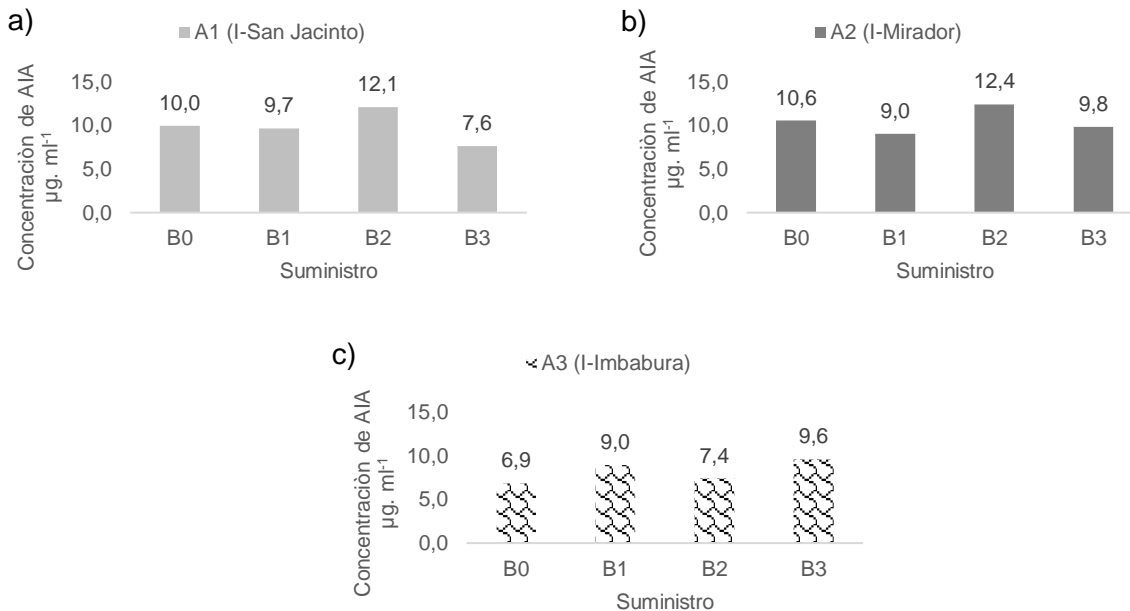
Variedad	Acido indol acético ($\mu\text{g. ml}^{-1}$)	Rangos
A2 (I-Mirador)	10,45 \pm 2,12	a
A1 (I-San Jacinto)	9,84 \pm 2,60	a
A3 (I-Imbabura)	8,21 \pm 1,68	b

Nota. Medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de Duncan ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Aunque desde el punto de vista estadístico no se presentó significancia estadística para la interacción entre factores, se puede apreciar que, el suministro semilla-foliar de sulfato de zinc en las variedades I-Mirador e I-San Jacinto exhibieron la mayor cantidad de AIA con promedios de 124,1 y 121,1 $\mu\text{g. ml}^{-1}$ respectivamente (Figura 5).

Figura 5

Concentración de ácido indol acético ($\mu\text{g. ml}^{-1}$) en raíces de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: a) variedad I-San Jacinto, b) variedad I-Mirador, c) variedad I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla-foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia.

Numero de espigas por metro cuadrado

El ANAVA para la variable número de espigas por metro cuadrado, registra significancia estadística para el factor suministro de sulfato de zinc ($F=4,12$; valor- $p= 0,0184$), y ninguna significancia para el factor variedad y la interacción variedad x suministro. El coeficiente de variación fue de 10,48% (Tabla 8).

Al analizar estadísticamente el número de espigas, el suministro semilla-foliar presentó una cantidad significativamente mayor, a diferencia de los otros suministros (Tabla 11).

Tabla 11

Número de espigas por metro cuadrado de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

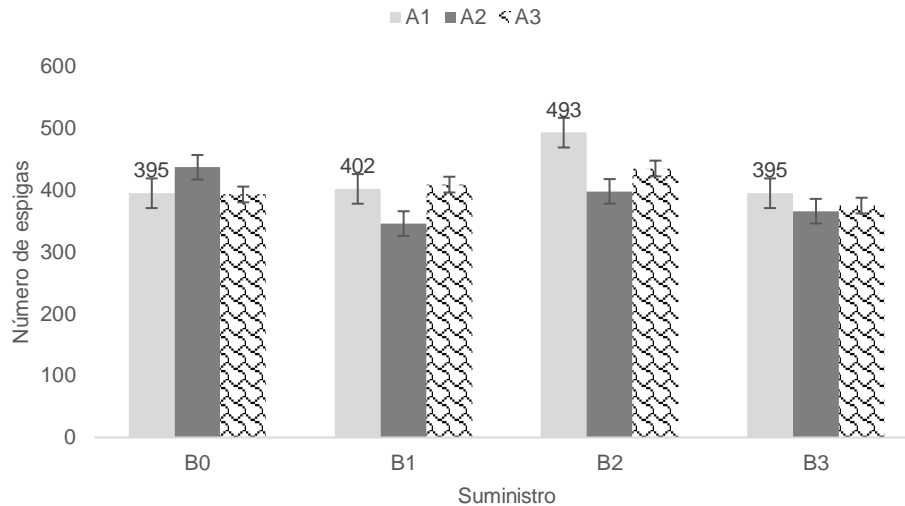
Suministro	Número de espigas	Rangos
B2 (semilla-foliar)	442,22 ± 50,11	a
B0 (sin suministro)	408,22 ± 48,60	ab
B1 (semilla-edáfico)	385,89 ± 36,60	b
B3 (edáfico-foliar)	378,44 ± 50,09	b

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).
Autoría propia.

Aunque desde el punto de vista estadístico no se presentó significancia estadística para la interacción variedad x suministro, se puede apreciar que, el suministro semilla-foliar en la variedad I-San Jacinto exhibió la mayor cantidad con un promedio de 493,33 espigas, frente al suministro semilla-edáfico en la variedad I-Mirador (Figura 6).

Figura 6

Número de espigas por metro cuadrado de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Donde: A1: I-San Jacinto, A2: I-Mirador, A3: I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla- foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia.

Número de espiguillas por espiga

El ANAVA para la variable espiguillas por espiga de trigo, registra significancia estadística para el factor variedad ($F=33,23$; $\text{valor-p} < 0,0001$), suministro de sulfato de zinc ($F=3,26$; $\text{valor-p} = 0,0407$) y la interacción variedad x suministro ($F=3,29$; $\text{valor-p} < 0,0183$). El coeficiente de variación fue de 7.10% (Tabla 8).

Al analizar estadísticamente el número de espiguillas por espiga, el suministro semilla-foliar en la variedad I-San Jacinto exhibió la mayor cantidad con un promedio de 25,33 espiguillas por espiga, a diferencia del suministro semilla-foliar en la variedad I-Imbabura (Tabla 12).

Tabla 12

Número de espiguillas por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

Tratamiento	Número de espiguillas por espiga	Rangos
T3: A1 (I-San Jacinto)-B2 (semilla-foliar)	25,33 ± 1,53	a
T6: A2 (I-Mirador)-B1 (semilla-edáfico)	24,67 ± 2,52	ab
T2: A1 (I-San Jacinto)-B1 (semilla-edáfico)	24,33 ± 2,52	ab
T5: A2 (I-Mirador)-B0 (sin suministro)	23,33 ± 0,58	abc
T1: A1 (I-San Jacinto)-B0 (sin suministro)	23,00 ± 3,00	abcd
T8: A2 (I-Mirador)-B3 (edáfico-foliar)	21,33 ± 2,08	abcde
T7: A2 (I-Mirador)-B2 (semilla-foliar)	20,67 ± 1,53	bcde
T4: A1 (I-San Jacinto)-B3 (edáfico-foliar)	20,67 ± 1,15	bcde
T12: A3 (I-Imbabura)-B3 (edáfico-foliar)	19,00 ± 0,00	cde
T10: A3 (I-Imbabura)-B1 (semilla-edáfico)	18,67 ± 1,15	de
T9: A3 (I-Imbabura)-B0 (sin suministro)	18,67 ± 1,53	de
T11: A3 (I-Imbabura)-B2 (semilla-foliar)	18,00 ± 1,00	e

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Autoría propia

Número de granos por espiga

El ANAVA para la variable número de granos por espiga de plantas de trigo, registra significancia estadística para el factor variedad ($F=9,34$; valor- $p=0,0012$), suministro de sulfato de zinc ($F=3,34$; valor- $p=0,0380$) y ninguna significancia para la interacción variedad x suministro. El coeficiente de variación de 10.40% (Tabla 8)

Al analizar estadísticamente el número de granos por espiga, las variedades I-Mirador e I-San Jacinto presentaron una cantidad de granos significativamente mayor comparado con la variedad I-Imbabura (Tabla 13).

Tabla 13

Número de granos por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

Variedad	Número de granos por espiga	Rangos
A2 (I-Mirador)	39,75 ± 5,21	a
A1 (I-San Jacinto)	39,33 ± 5,52	a
A3 (I-Imbabura)	33,58 ± 3,53	b

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Con respecto al número de granos por espiga estadísticamente, el suministro semillas-edáfico presento una cantidad significativamente mayor, comparado con el suministro edáfico-foliar (Tabla 14).

Tabla 14

Número de granos por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

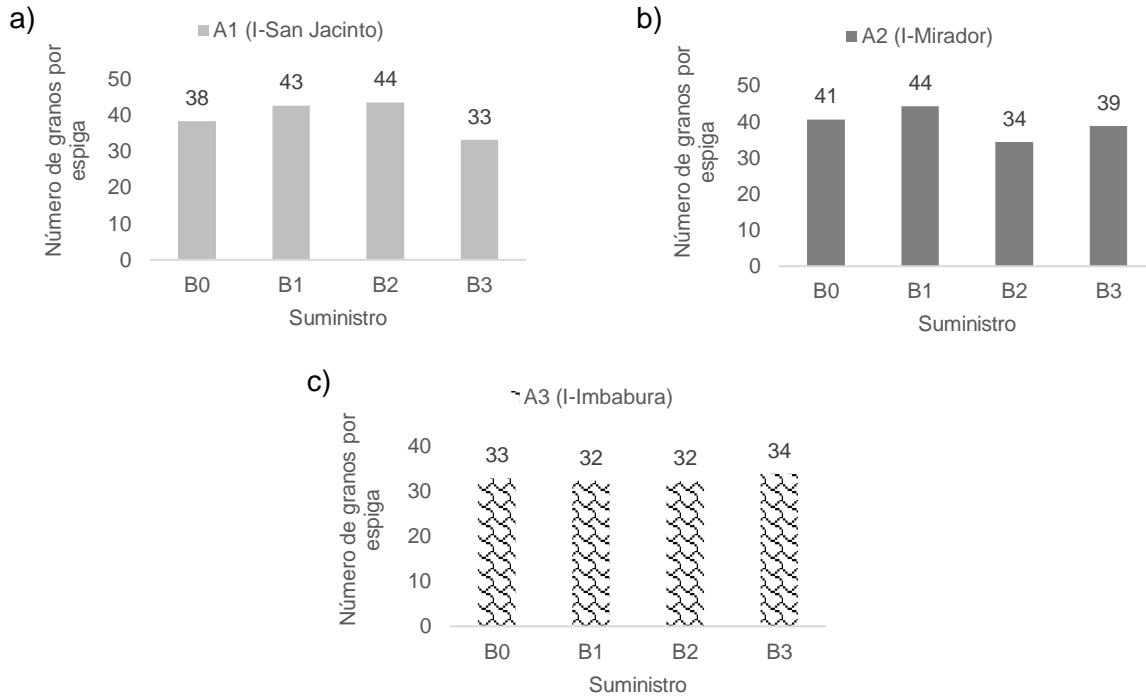
Suministro	Número de granos por espiga	Rangos
B1 (semilla-edáfico)	40,78 ± 6,20	a
B0 (sin suministro)	37,56 ± 4,90	ab
B2 (semilla-foliar)	36,78 ± 5,83	ab
B3 (edáfico-foliar)	35,11 ± 4,04	b

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Aunque no se presentó significancia estadística para el factor de interacción variedad x suministro, se puede apreciar que, los suministros semilla-foliar y semilla-edáfico en las variedades I-San Jacinto e I- Mirador exhibieron la mayor cantidad de granos con promedios de 44 granos ambos tratamientos, frente a los otros tratamientos (Figura 7).

Figura 7

Número de granos por espiga de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: a) variedad I-San Jacinto, b) variedad I-Mirador, c) variedad I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla- foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia.

Humedad en grano

El ANAVA para la variable humedad en grano no se registra significancia estadística en todos los factores de estudio (Tabla 8)

La humedad en grano de las variedades A1 (I-San Jacinto) y A2(I-Mirador) son las más aptas al momento de la cosecha ya que se encuentra en un porcentaje menor o igual al 14%, frente a la variedad A3 (I-Imbabura) que sobre pasa el porcentaje recomendado (Tabla 15).

Tabla 15

Humedad en grano (%) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

Variedad	Humedad (%)
A3 (I-Imbabura)	14,9 ± 4,1
A1 (I-San Jacinto)	14,1 ± 4,9
A2 (I-Mirador)	11,9 ± 3,0

Nota. Promedio ± desviación estándar de porcentaje de humedad según variedad de trigo utilizada Autoría propia.

Rendimiento del cultivo (kg. ha⁻¹)

El ANAVA para la variable rendimiento del cultivo, registra significancia estadística para el factor variedad (F=6,18; valor-p= 0.0074), y ninguna significancia para el factor suministro de sulfato de zinc ni para la interacción variedad x suministro. El coeficiente de variación fue de 17,69% (Tabla 8).

Al analizar estadísticamente el rendimiento del cultivo, las variedades I-San Jacinto e I-Mirador presentaron un rendimiento significativamente mayor comprado con la variedad - Imbabura (Tabla 16).

Tabla 16

Rendimiento del cultivo (kg. ha⁻¹) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

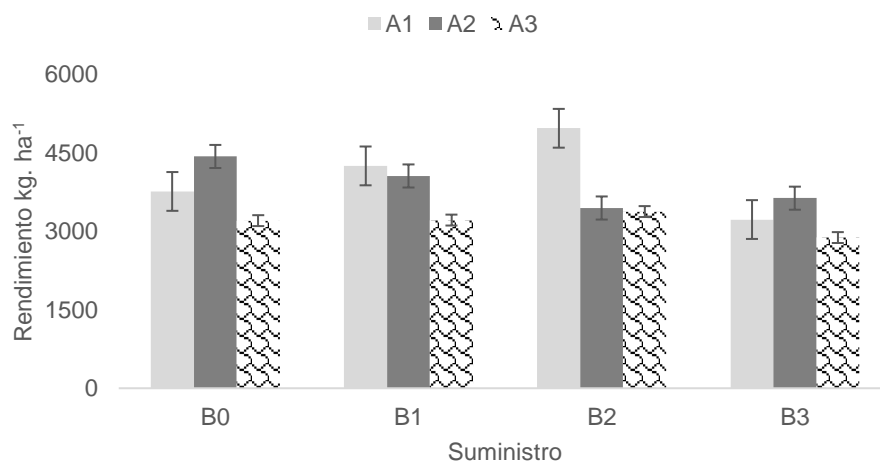
Variedad	Rendimiento (kg. ha⁻¹)	Rangos
A1 (I-San Jacinto)	4050,28 ± 810,12	a
A2 (I-Mirador)	3890,38 ± 885,25	a
A3 (I-Imbabura)	3168,11 ± 450,78	b

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Aunque no se presentó significancia estadística para la interacción variedad x suministro, se puede apreciar que, el suministro semilla-foliar en la variedad I-San Jacinto exhibió el mayor rendimiento con un promedio de 4967,83 kg. ha⁻¹, a diferencia de los otros tratamientos (Figura 8).

Figura 8

Rendimiento del cultivo (kg. ha⁻¹) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: A1: I-San Jacinto, A2: I-Mirador, A3: I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla- foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia

Variables calidad de harina

Contenido de fitatos en harina (mg. kg⁻¹)

Al analizar estadísticamente el contenido de fitato, el tratamiento sin suministro presentó una cantidad de fitato significativamente mayor, comparado con el suministro edáfico-foliar (Tabla 17).

Tabla 17

Contenido fitato en harina (mg. kg^{-1}) en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

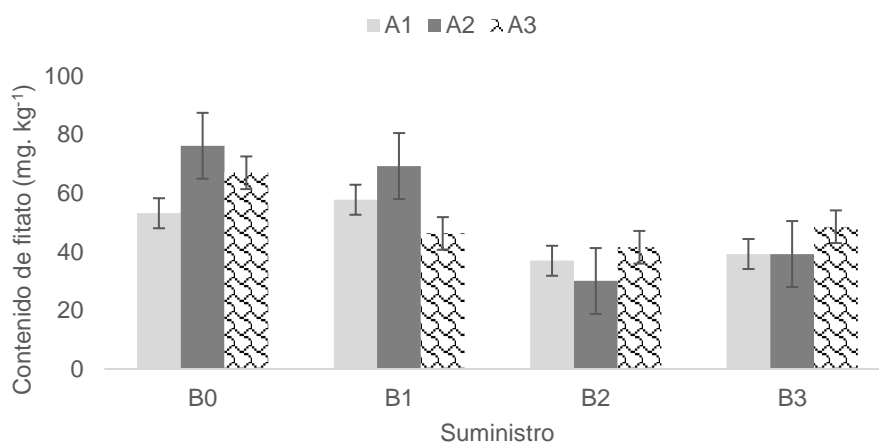
Suministro	Contenido de fitato (mg. kg^{-1})	Rangos
B0 (Sin suministro)	$65,38 \pm 10,99$	a
B1 (semilla-edáfico)	$57,68 \pm 25,90$	ab
B3 (semilla-foliar)	$42,31 \pm 16,02$	bc
B2 (edáfico-foliar)	$36,16 \pm 14,17$	c

Nota. Promedio \pm desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Se puede apreciar que, el tratamiento sin suministro en la variedad I-Mirador exhibió la mayor cantidad de fitato con un promedio de $76,16 \text{ mg. kg}^{-1}$, frente al suministro semilla-foliar y edáfica foliar en la variedad I-Mirador (Figura 9).

Figura 9

Contenido de fitatos (mg. kg^{-1}) en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: A1: I-San Jacinto, A2: I-Mirador, A3: I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla-foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia.

Concentración de zinc en harina (mg. kg⁻¹)

Al analizar la concentración de zinc, los tratamientos con suministro presentaron una alta concentración de zinc a comparación de los controles, siendo el suministro edáfico-foliar en la variedad I-Mirador el que presentó una concentración mayor, frente al tratamiento sin suministro (Tabla 18).

Tabla 18

Concentración de zinc en harina (mg. kg⁻¹) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

Tratamiento	Concentración de zinc (mg. kg⁻¹)
T1: A1 (I-San Jacinto)- B0 (sin suministro)	25,71
T2: A1 (I-San Jacinto)- B1 (semilla-edáfico)	29,94
T3: A1 (I-San Jacinto)- B2 (semilla-foliar)	28,36
T4: A1 (I-San Jacinto)- B3 (edáfico-foliar)	27,72
T5: A2 (I-Mirador)- B0 (sin suministro)	18,17
T6: A2 (I-Mirador)- B1 (semilla-edáfico)	33,52
T7: A2 (I-Mirador)- B2 (semilla-foliar)	33,29
T8: A2 (I-Mirador)- B3 (edáfico-foliar)	44,21
T9: A3 (I-Imbabura)- B0 (sin suministro)	23,64
T10: A3 (I-Imbabura)- B1 (semilla-edáfico)	25,80
T11: A3 (I-Imbabura)- B2 (semilla-foliar)	26,58
T12: A3 (I-Imbabura)- B3 (edáfico-foliar)	34,13

Nota. Datos concentración de zinc en harina de trigo. Autoría propia.

Biodisponibilidad

Al analizar la biodisponibilidad de zinc de la harina, los suministros semilla-foliar y edáfico-foliar en la variedad I-Mirador exhibió la mayor biodisponibilidad con una relación F:Zn de 0,09, frente al tratamiento sin suministro (Tabla 19).

Tabla 19

Relación mMolar de fitato:zinc para la biodisponibilidad en harina de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

Tratamiento	Relación mMolar Fitato:zinc
T1: A1 (I-San Jacinto)- B0 (sin suministro)	0,20
T2: A1 (I-San Jacinto)- B1 (semilla-edáfico)	0,19
T3: A1 (I-San Jacinto)- B2 (semilla-foliar)	0,13
T4: A1 (I-San Jacinto)- B3 (edáfico-foliar)	0,14
T5: A2 (I-Mirador)- B0 (sin suministro)	0,41
T6: A2 (I-Mirador)- B1 (semilla-edáfico)	0,20
T7: A2 (I-Mirador)- B2 (semilla-foliar)	0,09
T8: A2 (I-Mirador)- B3 (edáfico-foliar)	0,09
T9: A3 (I-Imbabura)- B0 (sin suministro)	0,28
T10: A3 (I-Imbabura)- B1 (semilla-edáfico)	0,18
T11: A3 (I-Imbabura)- B2 (semilla-foliar)	0,15
T12: A3 (I-Imbabura)- B3 (edáfico-foliar)	0,14

Nota. Datos relación molar harina de trigo. Autoría propia.

Enfermedades

El ANAVA para la variable espigas infectadas por carbón volador (*Ustilago tritici*), registra significancia estadística para el factor variedad ($F=13,45$; valor- $p= 0,0002$), y ninguna significancia para el factor suministro de sulfato de zinc ni para la interacción variedad x suministro.

Al analizar estadísticamente el número de espigas infectadas, las variedades I-San Jacinto e I-Mirador presentaron un número significativo de espigas infectadas, comparado con la variedad I-Imbabura (Tabla 20).

Tabla 20

Número de espigas infectadas por carbón volador (Ustilago tritici) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc

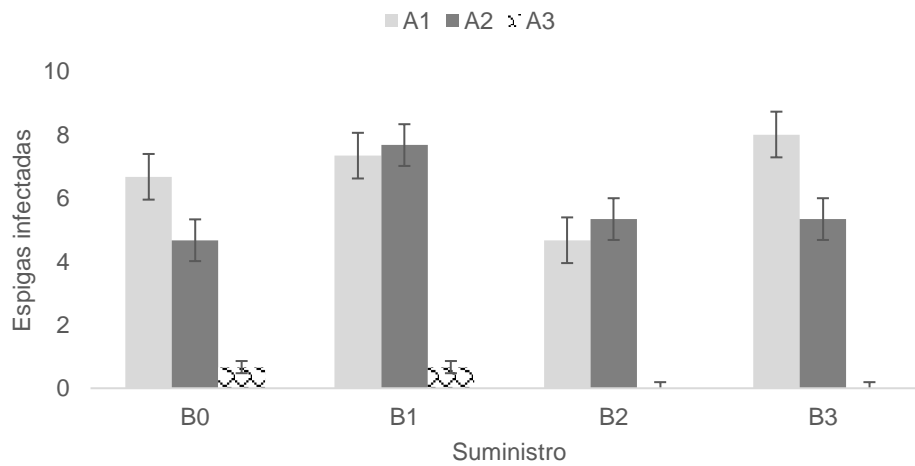
Variedad	Numero de espigas infectadas	Rangos
A1 (I-San Jacinto)	6,67 ± 4,16	a
A2 (I-Mirador)	5,58 ± 2,68	a
A3 (I-Imbabura)	0,3 ± 0,78	b

Nota. Promedio ± desviación estándar, medias con letras diferentes difieren significativamente con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Autoría propia.

Aunque desde el punto de vista estadístico no se presentó significancia estadística para la interacción variedad x suministro, el suministro semilla-foliar y edáfico-foliar en la variedad I-Imbabura, no presentaron espigas infectadas, a diferencia de los otros tratamientos (Figura 10).

Figura 10

Espigas infectadas por carbón volador (Ustilago tritici) de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



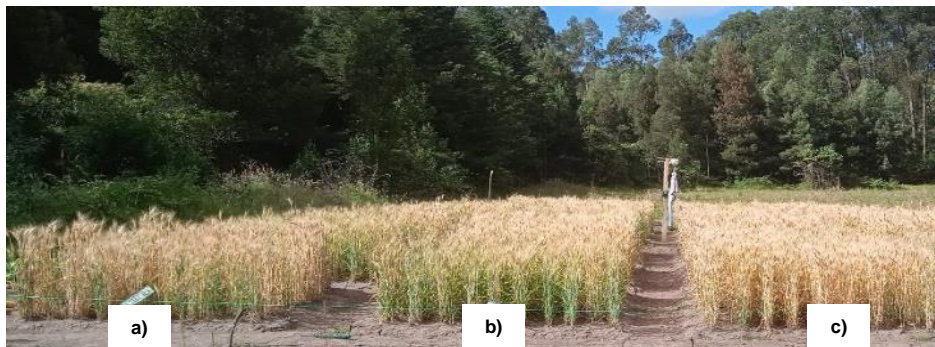
Nota. Dónde: A1: I-San Jacinto, A2: I-Mirador, A3: I-Imbabura, B0: Sin suministro, B1: Suministro semilla-edáfico, B2: Suministro semilla- foliar, B3: Suministro edáfico-foliar. Autoría propia..

Discusión

Los cereales son los más demandantes a nivel mundial ya que son la materia prima para elaborar varios productos de consumo masivo, convirtiéndolos primero en harina y posteriormente en productos terminados (pan, galletas, fideos, etc). En el Ecuador, los cereales más consumidos son trigo, maíz, arroz y cebada teniendo un consumo per cápita de 30 kg. año⁻¹, pero la producción nacional solo oferta el 2% de la demanda del país. Las importaciones de trigo han aumentado en los últimos diez años por lo que se tiene una gran dependencia de países como: Perú, Argentina y Turquía. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) tiene siete variedades mejoradas y que están adaptadas a una altitud de 2200 – 3000 m.s.n.m., entre las variedades más conocidas están I-San Jacinto, I-Mirador e I-Imbabura, Chimborazo 78, Vivar 2010 (Figura 11)

Figura 11

Cultivo de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: a) I-Mirador con suministro semilla-edáfico, b) I-Imbabura sin suministro, c) I-San Jacinto sin suministro. Autoría propia.

El manejo del cultivo de trigo en Ecuador se ha dado de forma tradicional siguiendo las recomendaciones presentadas por INIAP. Sin embargo, en el país no se han considerado, programas de biofortificación, para estas variedades mejoradas, sobre todo, en sus productos finales como los granos y harina. Con la presente investigación en términos generales se alcanzó la biofortificación del cultivo de trigo y se mejoró algunos parámetros agronómicos (Figura 12).

Figura 12

Evaluación de parámetros agronómicos de tres variedades de trigo por efecto de tres suministros de sulfato de zinc



Nota. Dónde: a) área de investigación cultivo de trigo, b) formación de parvas para traslado de trigo cosechado al lugar de trilla. Autoría propia

Para ello se evaluaron tres variedades de trigo (I-San Jacinto, I-Mirador, I-Imbabura) con la aplicación de tres suministros de zinc {semilla (0.1 M por 12 horas)-edáfico (50 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$), semilla (0.1 M por 12 horas)-foliar (4 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 800 L. ha^{-1}), edáfico (50 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$)-foliar (4 kg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 800 L. ha^{-1})}, en el caso de las variables agronómicas la variedad I-San Jacinto con suministro semilla-foliar se tuvo efectos favorables en la altura (92.72 cm), número de espigas (493 *espigas. m²*), número de espiguillas (25,33 *espiguillas. espiga⁻¹*), número de granos (44 *granos. espiga⁻¹*), y rendimiento (4967,9 kg. ha^{-1}) (Figura 13). Los parámetros mencionados son similares a los presentados por (Coronado *et al.*, 2016; Rehman *et al.*, 2015; Reynolds *et al.*, 2013; Saleem *et al.*, 2015), al aplicar Zn en el cultivo de trigo, no se asegura un mejoramiento en los parámetros agronómicos como altura, número de espiguillas y granos, ya que son características definidas por el genotipo y su adaptabilidad, mas no por el suministro, la altura de plantas está en un rango de 70 – 100 cm, número de espiguillas 10 – 30 espiguillas por espiga, número de granos 1 – 3 granos por espiguilla, las medidas de estas características al estar relacionadas por el genotipo van a estar influenciadas por las condiciones climáticas de adaptabilidad, en esta investigación se observó

que la variedad I-Imbabura se mantuvo con los rangos más bajos en sus variables agronómicas, esto se pudo relacionar a un problema de adaptabilidad al piso climático en donde se realizó el ensayo que supera los 2700 m.s.n.m.

Figura 13

Conteo del número de espiguillas y de granos



Nota. Dónde a) separación de espiguillas y de granos, b) separación de granos de 10 espigas. Autoría propia.

Pero hay otros parámetros agronómicos, que además del genotipo están influenciados por el manejo del cultivo (fertilizantes, suelo) y condiciones climáticas, como es el caso del número de espigas y rendimiento (Figura 14), estas variables no tienen un rango estándar, ya que siempre van a variar según las condiciones de las zonas en donde se cultiva, la temperatura influye directamente en el desarrollo del cultivo en etapa inicial (macollaje) y en la formación de grano (llenado), en el caso del manejo del cultivo (biofortificación) las dosis de suministros de micronutrientes aplicados influyen en procesos fisiológicos, el suministro por inmersión en sulfato de zinc heptahidratado asegura que la planta tenga un buen desarrollo inicial, además de proteger de patógenos del suelo, como se demuestra en la investigación de (Saleem *et al.*, 2015), con el suministro foliar se asegura que planta tenga una mejor disponibilidad del micronutriente y complete las deficiencias que se encuentran en el suelo.

Figura 14

Rendimiento por parcela



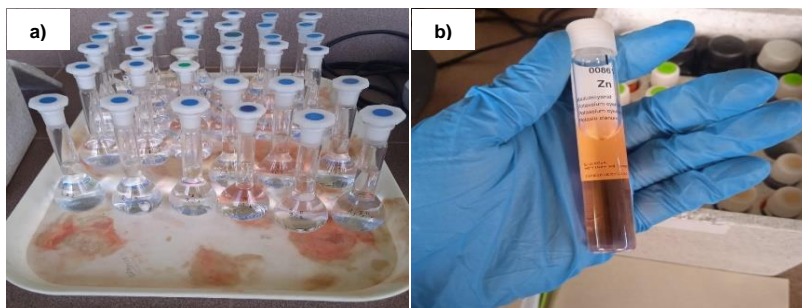
Nota. Dónde: a) metro cuadrado de cultivo en campo antes de cosecha, b) conteo de número de espigas por cada tratamiento. Autoría propia.

La variedad I-Mirador con suministro edáfico-foliar tuvo efectos favorables en la concentración de ácido indol acético ($12,4 \mu\text{g. ml}^{-1}$) y humedad de grano (11,9 %). Los resultados obtenidos demuestran que el genotipo (variedades) utilizado influye directamente en los parámetros agronómicos y estos están influenciados por el manejo del cultivo (suministros), estos efectos son reportados en investigaciones de (Castillo *et al.*, 2018; Quimbiulco, 2014; Rehman *et al.*, 2015; Saleem *et al.*, 2015) en donde se mencionan que no todas las plantas son capaces de utilizar eficientemente los micronutrientes tal es el caso en la producción de AIA, si bien la genética de cada variedad tiene un límite de producción de AIA para el desarrollo de la planta, este puede ser alterado por la aplicación de micronutrientes, el zinc al ser un micronutriente esencial ya que interviene en diferentes reacción como es la formación de polimerasa y síntesis de triptófano, y si se hace una aplicación de combinación de suministros de zinc, este micronutriente tiene más oportunidad de influir en los procesos fisiológicos, la inmersión de semillas es una nueva practica que está dando buenos resultados en etapas iniciales, mejorando el crecimiento de plántulas hasta llegar al macollaje. La humedad en grano está influenciada por el clima en la época de cosecha y el ciclo del cultivo, que varía según la adaptabilidad del mismo, el porcentaje de humedad recomendable para la cosecha del trigo en campo debe ser inferior al 14%.

En el caso de las variables de calidad de harina la variedad A2 (I-Mirador) con suministro edáfico-foliar tuvo efectos positivos para el contenido de fitato ($39,2 \text{ mg. kg}^{-1}$), concentración de zinc ($44,21 \text{ mg. kg}^{-1}$) y biodisponibilidad ($0,09 \text{ mM}$), los resultados obtenidos son similares a los presentados por (Coronado *et al.*, 2016; HarvestPlus, 2018; Restrepo *et al.*, 2016; Reynolds, 2020; Rodríguez *et al.*, 2018; Triana, 1993), los cuales mencionan que la concentración de zinc es importante en los cereales ya que forman parte de la alimentación básica a nivel mundial tanto para niños y mujeres embarazadas, el contenido de zinc en granos debe ser un mínimo de 38 mg. kg^{-1} pero muchos de los cultivos no llegan a tener este contenido, el suministro de sulfato de zinc heptahidratado en aplicación edáfica y foliar puede aumentar 4,3; 4,5 veces más la concentración de zinc respectivamente, pero si se utiliza en combinación puede aumentar 4,7 veces más (Figura 16). La aplicación foliar es recomendada ya que el zinc al tener una gran movilidad en la planta por el floema se garantiza que la aplicación influirá en el contenido de zinc, llegando a una concentración superior a 20 mg. kg^{-1} , considerando las necesidades humanas para evitar deficiencias de zinc, la dieta para de adultos debe ser de $25 - 35 \text{ mg. día}^{-1}$ y para los niños están en un rango de $10 - 15 \text{ mg. día}^{-1}$.

Figura 15

Análisis de concentración de zinc en harina de trigo



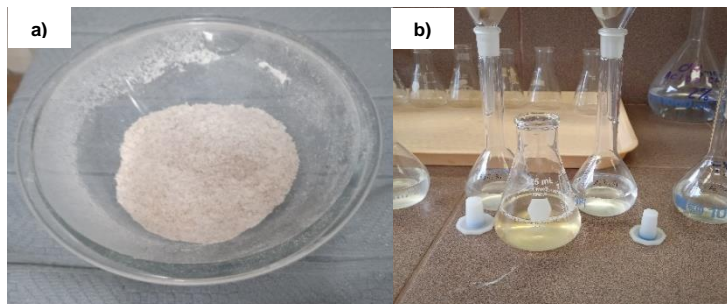
Nota. Dónde a) muestras para análisis, b) muestras con reactivos para lectura. Autoría propia.

El ácido fítico es un compuesto natural presente en los cereales y leguminosa, es un metabolito termoestable que tiene la capacidad de quelar fuertemente varios cationes como, calcio, hierro y zinc, los cuales se transforman en fitatos, estos son un compuesto antinutritivo

que impiden la absorción de los micronutrientes por el organismo humano (Figura 17), el contenido de fitatos puede aumentar al mezclar ingredientes, como las tortillas de trigo en donde se encontró $124 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Triana, 1993). En esta investigación se encontró que el contenido de fitatos de los tratamiento con suministro de zinc fue menor a $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ mientras que para el control supero los $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ este resultado es similar a lo presentado por Reynolds (2020) en donde el ácido fitico del cultivo de trigo con aplicación combinada de Zn y Se tuvo una cantidad de $6,76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ inferior al control que fue de $7,13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pero estos parámetros son mejor analizarlos considerando la relación molar fitato:zinc para conocer la biodisponibilidad de zinc en la dieta para humanos, los tratamiento que tengan un valor menor en la relación F:Zn serán los que más biodisponibilidad tengan, y esta biodisponibilidad se alcanzó con los tratamientos a los que se les aplico el tratamiento de suministros con una relación molar inferior a 0,20 a comparación de los testigos que tuvieron valores superiores a 0,25. Reynolds (2020), menciona que al dar un suministro de Zn y Se de forma individual y combinada se tubo valores de relación de biodisponibilidad F:Zn inferiores a 15 lo que indica una biodisponibilidad superior al 30%.

Figura 16

Análisis de contenido de fitato en harina de trigo



Nota. Dónde a) harina de trigo de cada tratamiento a evaluar, b) titulación de contenido de fitato en harina de trigo. Autoría propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El presente estudio muestra una influencia directa por suministro de zinc aplicado, en las variables número de espigas y rendimiento, siendo el suministro semilla (inmersión 0.1M por 12h)-foliar (dos dosis 4kg. ha⁻¹ en 800 L. ha⁻¹) el que tuvo un efecto positivo en las variedades I-San Jacinto e I-Mirador bajo las condiciones climáticas del IASA 1, obteniendo los mayores valores en siete de las ocho variables evaluadas.
- El suministro de sulfato de zinc edáfico (50 kg ZnSO₄.7H₂O. ha⁻¹ previo a la siembra)-foliar (dos dosis 4kg. ha⁻¹ en 800 L. ha⁻¹), obtuvo los mejores resultados en la calidad de harina, obteniendo la mayor concentración de zinc, un bajo contenido de fitatos y la mayor biodisponibilidad en la variedad I-Mirador.

Recomendaciones

- Se recomienda la producción de trigo con la variedad I-San Jacinto utilizando el suministro semilla-foliar para mejorar las características agronómicas.
- La producción de trigo con la variedad I-Mirador utilizando suministro edáfico-foliar se recomienda para obtener harina biofortificada.
- Realizar pruebas de concentración de zinc en productos terminados para el consumo humano utilizando la harina biofortificada.
- Se recomienda evaluar la germinación y desarrollo de rodales de trigo utilizando suministro por inmersión de semillas de sulfato de zinc, en dosis de 0.1 a 1 M para las variedades de INIAP.
- Se recomienda realizar programas de biofortificación del cultivo de trigo en diferentes condiciones climáticas

BIBLIOGRAFÍA

- Abulude, F. (2005). Effect of processing on nutritional composition, phytate and functional properties of rice (*Oryza sativa* L.) flour. *Nigerian food journal*, 22(1), 97-104.
<https://doi.org/10.4314/NIFOJ.V22I1.33573>
- Agroestrategias consultores. (24 de febrero 2014). *Fertilización en trigo. Requerimientos de nutrientes del cultivo de trigo*.
http://www.agroestrategias.com/Fertilizacion_en_Trigo.htm
- Arce, M. (2009). Normal climática y distribución de la precipitación de la hacienda El Prado-IASA. *Boletín técnico, serie zoológica*, 8(4–5).
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1422>
- Arias, C., D'Antonino, L., Teixeira, M., Marques, J., Marques, L., y Pereira, F. (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural - Los granos y su calidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO].
<https://www.fao.org/3/x5027s/x5027S02.htm>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Borelli, M., Ramón, A. N., y De La Vega, S. M. (2007). Interacción calcio-fitato-zinc en yogures cereales. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 13(1), 26–29.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and soil*, 302(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S11104-007-9466-3>
- Cakmak, I., y Kutman, U. B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European journal of soil science*, 69(1), 172–180. <https://doi.org/10.1111/EJSS.12437>
- Castillo, J., Ojeda Barrios, D. L., Hernández Rodríguez, A., González Franco, A. C., Robles Hernández, L., y Rogelio López Ochoa, G. (2018). Metaloenzimas de zinc en plantas.

- Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de américa*, 43(4), 242-248.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6401071&info=resumen&idioma=SPA>
- Comex, N. (2022). *Comercio exterior de Ecuador de trigo harinas - gluten de trigo, incluso seco*. Informe importaciones Ecuador - Trigo harinas.
<https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Ecuador/trigo-harinas--gluten-de-trigo-incluso-seco/EC/1101>
- Coronado, F., Poblaciones, M., Almeida, A., y Cakmak, I. (2016). Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foiar Zn application. *Plant and Soil*, 401(1–2), 331–346.
<https://doi.org/10.1007/S11104-015-2758-0>
- Dibb, D., Terry, R., y Wetch, R. (2010). De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana. *Informaciones Agronómicas*, 60, 1–8.
- Disqué, L. (1879) *Ueber Urobilin*. 2(4),259-272 <https://doi.org/10.1515/bchm1.1879.2.4.259>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento [EPMAPS] y Fideicomiso Fondo para la Protección de Cuencas y Agua [FONAG], (2022). *Anuario hidrometeorológico 2021. RED integrada de monitoreo hidrometereológico FONAG – EPMAPS*. https://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2022/06/Anuario-2021_Final.pdf
- Falconi, E., Garófalo, J., Ponce, L., Coronel, J., Y Abad, S. (2014). *INIAP-Estación experimental Santa Catalina - Trigo Imbabura*. Quito, EC: INIAP, Estación experimental Santa Catalina, Programa de cereales, 2014. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3293>
- Falconi, E., Monar, C., Rivadeneira, M., Ponce, L., Garófalo, J., Y Abad, S. (2010). *INIAP-Estación Experimental Santa Catalina - Trigo San Jacinto 2010*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2637>
- Fermagri. (2023). *Sulfato de zinc soluble*. Sulfato de zinc heptahidratado.
<http://www.tracape.com/sulfato-de-zinc-soluble.html>

- Garófalo, J., Ponce, L., y Abad G., S. (2011). *Guía del cultivo de trigo*. Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de cereales, 2011.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/381>
- Gibson, R. S. (2006). Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proceedings of the nutrition society*, 65(1), 51–60.
<https://doi.org/10.1079/PNS2005474>
- Google Maps. (2023). *IASA 1*. https://www.google.com/maps/place/IASA/@-0.3856423,-78.4164022,828m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x91d5bbbd8644851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d-78.4164022!16s%2Fg%2F11xpb5x_8?entry=ttu
- HarvestPlus. (2018). *Biofortificación: la evidencia científica*. https://biofortificados.com/wp-content/uploads/2019/09/Biofortificacio%CC%81n-la-evidencia-cienti%CC%81fica_compressed.pdf
- Index Mundi. (2022). *Importaciones de trigo en Ecuador por año (miles de toneladas)*. Importaciones de trigo de Ecuador.
<https://www.indexmundi.com/agriculture/?pais=ec&producto=trigo&variable=importaciones&l=es>
- Index Mundi. (2022). *Producción de trigo en Ecuador por año (miles de toneladas)*. Producción de trigo de Ecuador.
<https://www.indexmundi.com/agriculture/?pais=ec&producto=trigo&variable=produccion&l=es>
- International Plant Nutrition Institute. (2017). *Manual cultivo de Trigo*. IPNI.
<http://lacs.ipni.net/article/LACS-1256>.
- Keith, M. (2016). *Estado nutricional de calcio, hierro y zinc y su asociación con componentes dietarios, en mujeres hermosellenses en edad fértil*. Centro de investigación en alimentación y desarrollo, A.C.

- Licto, S. (2017). *Estudio de la biofortificación foliar con diferentes fuentes de zinc en Rye Grass perenne (Lolium perenne) variedad Amazon* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional - Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/14410>
- Manangón, 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 de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6717/1/UPS-YT00040.pdf>
- Manzeke, G., Mapfumo, P., Mtambanengwe, F., Chikowo, R., Tendayi, T., y Cakmak, I. (2012). Soil fertility management effects on maize productivity and grain zinc content in smallholder farming systems of Zimbabwe. *Plant and Soil*, 361(1–2), 57–69. <https://doi.org/10.1007/S11104-012-1332-2>
- Merck. (2023). *Prueba de células de zinc | 100861. Método: Fotométrico 0,025 - 1,000 Mg/l Zn Spectroquant*. https://www.merckmillipore.com/INTL/en/product/Zinc-Cell-Test,MDA_CHEM-100861?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
- Ministerio de Agricultura y Ganadería Pesca [MAGAP]. (2016). *Boletín situacional Trigo 2016*. <https://fliphtml5.com/ijia/dqhx/basic>
- Monserate, F. A., Pachón, H., Hyman, G. G., Vesga, A. L., Rojas, M. F., y Varela, V. A. (2009). Metodología para seleccionar zonas de intervención con cultivos biofortificados. Investigación original. *Panam Salud Publica*, 26(5), 419-28.
- Mousegne, F., Ferraris, G., y Urrutia, J. (2015). *Respuesta aditiva a la fertilización con nitrógeno, azufre y zinc en trigo. Relación con indicadores de diagnóstico. Experiencias de la campaña 2014/15*. Engormix - Agricultura. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/respuesta-aditiva-fertilizacion-con-t32046.htm>

- Pachón, H. (2010). *El impacto nutricional de cultivos biofortificados o cultivos con mayor calidad nutricional*. AgroSalud; Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], Cali: Colombia.
- Ponce, L., Garófalo, J., y Noroña, P. (2022). *Trigo (Triticum aestivum L.): Manual de manejo del cultivo y conservación de suelos*. Boletín Divulgativo No. 004. KOPIA, INIAP. Mejía – Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5975>
- Quimbiulco, S. (2014). *Evaluación de siete variedades de trigo (Triticum aestivum L.) con tres tipos de manejo nutricional, a 3484 m.s.n.m. Cangahua - Cayambe, 2012* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional – Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6233/1/UPS-YT00287.pdf>
- Rawson, H., y Macpherson, H. (2001). *Trigo regado: manejo de cultivo*. Roma: FAO
- Rehman, A., Farooq, M., Ahmad, R., y Basra, S. M. A. (2015). Seed priming with zinc improves the germination and early seedling growth of wheat. *Seed Science and Technology*, 43(2), 262–268. <https://doi.org/10.15258/SST.2015.43.2.15>
- Restrepo, C., Coronell María, Arrollo Julia, Martínez Gisela, Sánchez Lucis, y Sarmiento Luz. (2016). La deficiencia de zinc: un problema global que afecta la salud y el desarrollo cognitivo. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 165-175. <http://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-2>
- Reyes, P. (1990). *Diseño de experimentos aplicados: agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales, ciencias de la salud*. México: Editorial Trillas
- 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 doctoral, Universidad de Extremadura]. Repositorio Institucional - Universidad de Extremadura. <https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/11945>

- Reynolds, M., Pask, A., Mullan, D., y Chávez, P. (2013). *Fitomejoramiento fisiológico I: Enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo*. CIMMYT.
<http://hdl.handle.net/10883/3207>
- Rivadeneira, M., Monar, C., Falconi, E., Ponce, L., Garófalo, J., y Abad, S. (2010). *INIAP- Estación Experimental Santa Catalina - Trigo Mirador 2010*.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2638>
- Rodríguez, L., Lucas-Florentino, B., Miranda-Cruz, E., Guerrero-Olazarán, M., Rodríguez-Blanco, L., Lucas-Florentino, B., Miranda-Cruz, E., y Guerrero-Olazarán, M. (2018). Content of phytic acid and inorganic phosphorus in *vigna unguiculata* and *phaseolus vulgaris* germinated at different temperatures. *Información tecnológica*, 29(3), 39–46.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300039>
- Roset, P. (31 de mayo de 2021). *Con simulaciones, apuntan a optimizar el manejo de trigo y cebada*. Sobre La Tierra. <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/con-simulaciones-apuntan-a-optimizar-el-manejo-de-trigo-y-cebada/>
- Saleem, I., Javid, S., Ehsan, S., Niaz, A., Bibi, F., y Ahmed, Z. (2015). Improvement of wheat grain zinc and zinc daily intake by biofortification with zinc. *International journal of plant y soil science*, 8(5), 1–6. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2015/19739>
- Saltos, R. (2016). La biofortificación agronómica para el mejoramiento de la calidad nutricional de tubérculos de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la parroquia Guanujo [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Digital - Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24351/1/tesis-056%20Maestr%c3%ada%20en%20Agroecolog%c3%ada%20y%20Ambiente%20-%20CD%20438.pdf>
- Secrets, G. (1 de mayo de 2021). *Manual de instrucciones de repelente solar de aves y animales de garden secrets*. <https://manuals.plus/es/garden-secrets/solar-animal-and-bird-repellent-manual#axzz87xuCYAWb>

- Sembralia. (24 de septiembre de 2021). *Zinc en el cultivo de plantas. funciones, síntomas y fuentes de zinc*. <https://sembralia.com/blogs/blog/zinc-cultivo-plantas>
- Sharma, M. y Kumar, P. (2017). *Guía para la identificación y el manejo de la deficiencia de nutrientes en cereales*. CIMMYT. <https://hdl.handle.net/10883/19700>
- Tariq, A., Anjum, S., Randhawa, M., Ullah, E., Naeem, M., Qamar, R., Ashraf, U. y Nadeem, M. (2014) Influence of zinc nutrition on growth and yield behaviour of maize (*Zea mays* L.) Hybrids. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2646-2654.
DOI: 10.4236/ajps.2014.518279.
- Triana, M. (1993). *Contenido de fitatos, hierro, zinc y calcio en alimentos y dietas de Sonora. Evaluación de su solubilidad* [Tesis de maestría, Centro de investigación en alimentación y desarrollo]. Repositorio CIAD.
https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/635/1/Triana-Tejas%20M%20A_MC_1993.pdf
- Wei, Y., Shohag, M. J. I., Wang, Y., Lu, L., Wu, C., y Yang, X. (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(7), 1871–1879.
<https://doi.org/10.1021/JF205025B>
- Yáñez, A. (2020). *Análisis de las importaciones de trigo en el Ecuador durante el periodo 2015-2019* [Examen complejo, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Digital – Universidad Técnica de Machala.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15907/1/E-11849_YANEZ%20RIOS%20ANGEL%20RAMIRO.pdf