



**Evaluación de biofortificación con zinc en maíz dulce (*Zea mays* L.), variedad ADV
9139 en campo para establecer la dosis adecuada**

Alban Esquivel, Alvaro Alexander

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

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

Ing. Landázuri Abarca Pablo Aníbal Mgtr.

21 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación de biofortificación con zinc en maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad ADV 9139 en campo para establecer la dosis adecuada**, fue realizado por el señor: **Alban Esquivel, Alvaro Alexander**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de agosto del 2023



Firmado electrónicamente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

C.C.: 1708262348

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



Alban Esquivel Alvaro Alexander_Tra...

Scan details

Scan time:
August 21th, 2023 at 15:32 UTC

Total Pages:
37

Total Words:
9006

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	3.5%	312
Mini Changes	3%	269
Paraphrased	1.7%	151
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
○ Human text



Firmado electrónicamente por:
PABLO ANÍBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

C.C.: 1708262348



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

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Alban Esquivel, Alvaro Alexander**, con cédula de ciudadanía N 1753021607, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de biofortificación con zinc en maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad ADV 9139 en campo para establecer la dosis adecuada** 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, 21 de agosto del 2023

Alban Esquivel, Alvaro Alexander

C.C.: 1753021607



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

Autorización de Publicación:

Yo, **Alban Esquivel, Alvaro Alexander**, con cédula de ciudadanía No. 1753021607 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación de biofortificación con zinc en maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad ADV 9139 en campo para establecer la dosis adecuada** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 21 de agosto del 2023

Alban Esquivel, Alvaro Alexander

C.C.: 1753021607

Dedicatoria

A Dios, por bendecirme siempre, no desampararme, darme su mano para seguir adelante en este camino y mostrarme su infinita misericordia y amor en todo momento.

A mis padres Edith y Rolando por su ejemplo de lucha, honradez, bondad y respeto. Gracias a su guía y apoyo me han permitido culminar esta etapa de mi vida.

La bendición de tener una pareja implica que en el transcurso de tu vida no estarás solo, que existirá alguien con quien poder contar, dar y recibir amor, comprensión, respeto y ella siendo la felicidad encajada en una sola persona es la mayor motivación de mi vida, la parte fundamental para lograr todas mis metas y anhelos, por eso este logro se lo dedico al amor de mi vida Alejandra Arcos, quien ha sido mi amiga y compañera incondicional todo el tiempo.

A mis tíos Cristóbal, Maritza, Norma, Luis, Carmela, Nelson. Por sus bendiciones y apoyo incondicional.

A mis hermanos Nicolas y Ricardo, mis primos Gabriela, Luis, Carlos y a mis amigos Mishel, Henry, Brayan, Evelyn, Jenifer, Alexander, Dayana, Segundo, Jaqueline. Quienes han sido base fundamental de mi vida con su apoyo y consejos.

Nadie sabe cuánto tiempo tenemos de vida, pero hay personas que lo aprovechan al máximo y dejan huellas imborrables de ejemplo y amor, por eso se los dedico a mis abuelitos Juan y Zoila por ser la inspiración de haber seguido esta carrera y mi claro ejemplo a seguir.

Agradecimiento

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Agropecuaria IASA I, al Ingeniero Pablo Aníbal Landázuri Abarca por su apoyo incondicional durante la elaboración de este proyecto de investigación y por sus conocimientos impartidos.

A mi familia por su apoyo emocional, económico y sobre todo por ser ese motor para seguir en el camino de este gran sueño, ahora ya cumplido.

Quiero agradecer a mis amigos, que siempre estuvieron para brindarme su apoyo, y me han acompañado a través de mi formación personal.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría:	4
Autorización de Publicación:	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	12
Resumen.....	13
Abstract	14
CAPÍTULO I.....	15
INTRODUCCIÓN	15
Antecedentes	15
Justificación.....	16
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos	18
Hipótesis.....	18
CAPITULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
Origen y Distribución.....	19

Taxonomía.....	19
Morfología de la planta.....	19
Raíz.....	19
Tallo	20
Hojas.....	20
Inflorescencia.....	20
Grano.....	20
El ciclo del cultivo.....	21
Maíz dulce	23
Condiciones ambientales para el desarrollo vegetativo.....	23
Prueba de germinación estándar.....	23
Evaluación de vigor de plántulas	24
Micronutrientes impregnados.....	24
Zinc en plantas	25
Sulfato de Zinc	26
CAPÍTULO III.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
Ubicación y características del área de estudio.....	27
Manejo del ensayo	28
Análisis de suelo.....	28
Preparación del terreno.....	28
Siembra y Trasplante	29
Control de plagas y malezas.....	30

Riego.....	30
Biofortificación.....	30
Características agronómicas de la planta	31
Altura de la planta.....	31
Diámetro del tallo.....	31
Medición de clorofila en campo.....	31
Producción de materia seca (MS)	32
Medición de clorofila a y b	32
Preparación de muestras y Análisis de laboratorio para la determinación de Zn	33
Diseño experimental	33
Características de las unidades experimentales.....	34
Factores de estudio.....	34
Análisis estadístico.....	35
Variables de estudio.....	36
CAPÍTULO IV	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
Resultados.....	37
Altura de planta	37
Diámetro de la planta	37
Clorofila de la planta.....	38
Clorofila Total.....	38
Materia Seca.....	38
Contenido de Zinc	39
Longitud de raíz.....	41

Discusión	41
CAPÍTULO V	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
Conclusiones	44
Recomendaciones	44
Bibliografía	45

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Fenología del maíz dulce</i>	21
Tabla 2 <i>Análisis de suelo previo a la implementación del proyecto</i>	28
Tabla 3 <i>Tratamientos de Zn con diferentes métodos de aplicación a distintas dosis</i>	34
Tabla 4 <i>Media \pm DE, de la altura de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y métodos de aplicación</i>	37
Tabla 5 <i>Media \pm DE, de la clorofila total ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y diferentes métodos de aplicación</i>	38
Tabla 6 <i>Media \pm DE, de la materia seca de la planta de maíz dulce (gr), expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y diferentes métodos de aplicación</i>	39
Tabla 7 <i>Media \pm DE, del contenido de zinc en la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y métodos de aplicación</i>	40

Índice de figuras

Figura 1 <i>Invernadero Horticultura - IASA I</i>	27
Figura 2 <i>Trasplante de las plantas de maíz (<i>Zea mays L.</i>) variedad ADV 9139</i>	29
Figura 3 <i>Trasplante de las plantas de maíz (<i>Zea mays L.</i>) variedad ADV 9139</i>	30
Figura 4 <i>Disposición de las unidades experimentales</i>	34
Figura 5 <i>Contenido de zinc expresado en porcentaje, en diferentes secciones de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y métodos de aplicación</i>	41

Resumen

El zinc es indispensable para el desarrollo y productividad de las plantas, pero al ser un elemento poco móvil se tiene que buscar alternativas viables en la nutrición vegetal. Adicional, el zinc contribuye al sistema inmunitario, mejora la capacidad intelectual, interviene en la producción de material genético de las células y las proteínas en hombres y animales. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar tres técnicas de biofortificación con $ZnSO_4$ (foliar, edáfico y combinado), aplicando seis diferentes dosis de $ZnSO_4$ en la etapa vegetativa V9 de las plantas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. ADV 9139, cultivo de gran demanda en el Ecuador y el mundo. Los mejores resultados en cuanto a valores agronómicos se obtuvieron biofortificando con sulfato de zinc ($ZnSO_4$) a nivel de la filosfera, altura media 248,00 cm, clorofila total media 57,97 $mg.L^{-1}$, materia seca con una media de 346,72 $g.Kg^{-1}$, la media de contenido de zinc en la planta fue 32,43 $g.L^{-1}$. En consecuencia, plantas de maíz dulce Variedad ADV 9139, tuvieron un efecto positivo al ser tratadas con zinc en dosis de 30 a 40 $mg.L^{-1}$, con respecto a las plantas testigo.

Palabras clave: MAÍZ DULCE, BIOFORTIFICACIÓN, FOLIAR

Abstract

Zinc is indispensable for the development and productivity of plants, but since it is an element that is not very mobile, viable alternatives must be sought in plant nutrition. In addition, zinc contributes to the immune system, improves intellectual capacity, and intervenes in the production of genetic material of cells and proteins in humans and animals. The objective of this work was to evaluate three biofortification techniques with ZnSO₄ (foliar, edaphic and combined), applying six different doses of ZnSO₄ in the V9 vegetative stage of sweet corn plants (*Zea mays* L.) var. ADV 9139, a crop of great demand in Ecuador and the world. The best results in terms of agronomic values were obtained by biofortifying with zinc sulfate (ZnSO₄) at the phyllosphere level, average height 248.00 cm, average total chlorophyll 57.97 mg.L⁻¹, dry matter with an average of 346.72 g.Kg⁻¹, average zinc content in the plant was 32.43 g.L⁻¹. Consequently, sweet corn plants Variety ADV 9139, had a positive effect when treated with zinc in doses of 30 to 40 mg.L⁻¹, with respect to the control plants.

Keywords: SWEET CORN, BIOFORTIFICATION, FOLIAR

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El maíz, el trigo y el arroz, son uno de los cereales más importantes del mundo, puesto que suministran elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas y edulcorantes alimenticios Food and Agriculture Organization (FAO, 1993).

La primera referencia de maíz dulce fue en el año 1820, donde fue identificada como subespecie (*Zea mays ssp saccharata*) (Parera, 2017); en 1924 se desarrolla el primer híbrido denominado Redgreen. Para 1947 más del 75 % de la superficie cultivada con maíz dulce en EUA, provenía de semillas híbridas. En la actualidad, la superficie sembrada con híbridos en el mundo supera el 90%.

Los cereales como el maíz tienen un alto contenido de sustancias anti nutrientes como el ácido fítico, que inhibe la absorción de micronutrientes como el Zn y Fe. Por esta razón, se han implementado programas de biofortificación en este tipo de cultivo, con el fin de desarrollar cultivos rentables que puedan incrementar la ingesta de microelementos como el zinc (Zn), en personas con riesgo de deficiencia o mal nutrición (Intriago, 2021).

En Ecuador en el año 2021 se han realizado estudios sobre la impregnación con diferentes dosis de ZnSO₄ y tiempos de remojo sobre las semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad Bandit, en donde se demostró que esta tecnología en las semillas de maíz dulce, promovió parámetros como la velocidad y calidad de germinación (Intriago, 2021). Otros trabajos de investigación en estrategias de biofortificación con zinc mediante aplicaciones o combinadas, generaron un efecto positivo sobre la concentración de zinc en granos de maíz dulce híbrido Bandit Harris Moran de tal forma que se logró incrementar entre 19.46% a 72.48%

la concentración de zinc en granos de maíz dulce, en comparación al manejo convencional del cultivo (Ruiz, 2022).

Justificación

Las deficiencias de micronutrientes, en general, y en particular las de hierro, yodo, zinc, y vitamina A; afectan a más de la tercera parte de la población mundial, traen serias consecuencias sobre el aprendizaje en los niños, la capacidad de trabajo del adulto y pueden provocar enfermedades, y hasta la muerte.

Se estima que dos mil millones o más personas sufren de ‘hambre oculta’, es decir presentan carencia de los micronutrientes necesarios para el crecimiento y la buena salud. En los niños de corta edad, la deficiencia de micronutrientes provoca desnutrición, que resulta en daño cognitivo permanente y nunca alcanzan el mismo desarrollo que sus compañeros mejor alimentados, lo que conlleva a toda una vida de mala salud y menor productividad (Hilton, 2017; Padrón, 2011).

Por lo cual, para contribuir mediante prácticas agrícolas a las deficiencias de micronutrientes presentadas en la nutrición de la población, se pueden realizar prácticas de biofortificación en diferentes formas de aplicación. En general los suelos del Ecuador presentan deficiencias de Zinc en los suelos de producción de cereales como el maíz, que es uno de los que más se consume en Ecuador, mismo que se utiliza en la alimentación humana, así como animal, para la elaboración de balanceados. Por eso el cultivo de maíz en la Sierra del Ecuador es de fundamental importancia por el rol que cumple el grano en la seguridad alimentaria de la población. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), durante el 2020 se sembraron 74 018 hectáreas de este cereal, que representa casi el doble de la superficie sembrada con otros cultivos de importancia socioeconómica como la papa, cebada, fréjol, trigo, quinua, entre otros. El consumo per cápita de maíz suave en Ecuador es de alrededor de 14,5 kg al año. Esto demuestra la importancia del maíz de la Sierra en la agricultura del país, donde

se lo cultiva en las estribaciones y en los valles de la Cordillera de los Andes, desde la provincia de Carchi en el norte hasta la provincia de Loja en el sur (Zambrano *et al.*, 2021).

Las plantas superiores tienen pocas enzimas que contienen Zn como la alcohol deshidrogenasa la cual es una enzima que ayuda a la planta a descomponer los alcoholes, anhidrasa carbónica (AC) la cual es una metaloenzima que cataliza la conversión reversible del CO₂ a bicarbonato y RNA polimerasa que sirven para la formación de proteínas. Sin embargo, existen muchas enzimas que son activadas por el Zn, aun cuando los cambios provocados por la deficiencia de este microelemento en el crecimiento y desarrollo de las plantas son bastante complejos, existen algunos cambios que son típicos y que se relacionan con las funciones de este micronutriente en reacciones o en pasos específicos de las funciones metabólicas. Estos cambios inducidos en el metabolismo de la planta incluyen efectos sobre los carbohidratos, proteínas, auxinas y daños de la integridad de las membranas (Kirkby y Römheld, 2008).

Por eso se han incorporado en gran manera procesos agroindustriales tales como la industria del congelado y vegetales de gama IV (semiprocesados) que en la última década ha demandado cantidades crecientes de maíz dulce por ser una hortaliza de muy buena adaptación a estas técnicas de conservación y comercialización. El principal país productor es Estados Unidos (Parera, 2017).

Por lo antes expuesto el presente estudio tiene por objeto evaluar el efecto de la biofortificación de diferentes dosis de zinc mediante tres métodos de aplicación sobre las plántulas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. ADV 9139.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la biofortificación con Zn en maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad ADV 9139 en campo para la obtención de la dosis adecuada en las plantas.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de tres métodos de aplicación de Zn sobre las variables agronómicas y fisiológicas en plantas de maíz dulce (*Zea mays L.*), variedad ADV 9139 en campo.
- Analizar el efecto del Sulfato de Zn sobre las variables agronómicas y fisiológicas en plantas de maíz dulce en campo de la variedad ADV 9139.

Hipótesis

H₀: Los métodos de biofortificación solos o combinados no afectan en la concentración de zinc en la planta y mantiene los factores agronómicos del cultivo en comparación con el manejo convencional del mismo.

H₁: Los métodos de biofortificación solos o combinados afectan en la concentración de zinc en la planta y mantiene los factores agronómicos del cultivo en comparación con el manejo convencional del mismo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Origen y Distribución

El maíz dulce pertenece a la familia Gramineae que está compuesta por unos 450 a 530 géneros y casi 5.000 especies. Es una de las familias más importantes en la alimentación mundial, pues a ella además del maíz, pertenecen el trigo, arroz, avena, triticale y centeno. La especie (*Zea mays L.*), es originaria de Mesoamérica, hoy Guatemala y parte de México, fue domesticada por las tribus originarias de la región. Se señala que podría derivar del Teosinte (*Euchaleana mexicana* Schrad., sin. (*Zea mexicana*) (Schrad.) Kuntze), planta cultivada como forraje en las regiones más cálidas de América (Brown *et al.*, 1985).

El maíz dulce se generó a partir de una mutación en la raza peruana de maíz llamada Chullpi, aunque fue mayormente cultivada por nativos de Norteamérica desde tiempos precolombinos (Brown *et al.*, 1985).

Taxonomía

La variedad ADV 9139 de maíz dulce (*Zea Mays L.*) corresponde al reino Plantae, división Manoliophyta, clase Liliopsida, familia de las Poaceas y del género *Zea* (Sánchez, 2014).

Morfología de la planta

Raíz

Son fasciculadas y tienen como principal objetivo anclar bien la planta al suelo, esta parte de la planta no sobrepasa el metro de profundidad. Algunas veces se logra apreciar nudos de raíces que se encuentran en la superficie del terreno, éstas generalmente son raíces secundarias (Guacho, 2014).

Tallo

Su longitud varía dependiendo de factores genéticos y ambientales logrando alcanzar hasta los 4 metros de altura, es una caña erguida con su interior macizo, puede contener 8 o más nudos y no presenta ramificaciones (Guacho, 2014).

Hojas

Están ubicadas abrazando al tallo, se forman de manera alternada, además son largas, lanceoladas, de tamaño considerable y paralelinervias, es decir, que todos los nervios son paralelos e inician longitudinalmente desde el pecíolo hacia lo largo de la hoja. Sus bordes son filosos, lo que puede ocasionar cortaduras y presentan una vellosidad en su haz (Guacho, 2014).

Inflorescencia

Esta planta posee inflorescencia masculina (flores) y femenina (mazorcas) separadas dentro de sí misma, por lo que es una planta monoica. La inflorescencia masculina se encuentra conformada por racimos con coloración amarilla los cuales van decreciendo su tamaño hacia el ápice, contienen aproximadamente entre 20 a 25 millones de granos de polen (Guacho, 2014).

Por otro lado, la inflorescencia femenina una vez fecundada por el polen se la conoce como mazorca. La mazorca se encuentra cubierta por hojas de color verde que termina con una especie de mechón de pelo de color amarillo oscuro, contiene los granos de maíz o semillas a lo largo de un eje con 6 a 12 hileras (Guacho, 2014).

Grano

Este elemento de la planta se encuentra conformado por tres partes primordiales: el pericarpio que es duro y cubre a la semilla (fruto) protegiéndola así de hongos y bacterias, cuando este es afectado por dichas plagas la germinación puede tomar más tiempo; la capa de aleurona que se encuentra por debajo del pericarpio y es la encargada de proporcionar color al grano ya sea este (blanco, amarillo o morado), en ella también se encuentran proteínas; el

endospermo que se encuentra en el interior de la capa de aleurona y este corresponde a la mayor cantidad del peso del grano correspondiente a un 85-90%. El embrión también forma parte de la semilla y se encuentra conformado por la plúmula y la radícula (Guacho, 2014).

El ciclo del cultivo

La siembra del maíz dulce se produce en un clima templado-cálido, este cultivo es susceptible a las heladas. Está constituido por tres fases: germinación, etapa vegetativa y etapa productiva (Parera, 2017).

La fase desde la siembra hasta la cosecha presenta un cambio constante, mostrando híbridos precoces de 70 a 80 días, intermedios de 85 a 90 días y tardías que oscilan entre 96 a 110 días. Este ciclo es influenciado principalmente por la temperatura y disponibilidad de agua, sin embargo, también puede ser por factores como la salinidad, plagas o enfermedades (Parera, 2017).

El cultivo del maíz dulce se divide en dos etapas o fases: vegetativa (V) y reproductiva (R) las mismas que se describen en la Tabla 1 presentada a continuación:

Tabla 1

Fenología del maíz dulce

ETAPA	CARACTERÍSTICA	DÍAS
VEGETATIVA	El coleóptilo emerge de la superficie del suelo, también se produce un crecimiento debajo de la superficie de la tierra conforme el sistema radicular nodal comienza a crecer.	5
	Surge la primera hoja completamente y el collar de la hoja es visible.	9
	Ha surgido dos hojas totalmente con collares visibles.	12

ETAPA	CARACTERÍSTICA	DÍAS	
V3	Inicio del proceso fotosintético, la planta comienza a depender del sistema radicular nodal, las raíces aumentan de tamaño y empiezan a formar pelo radical. El crecimiento del sistema radicular se ha detenido.	—	
Vn	Periodo de rápido crecimiento empieza durante estas etapas. Determinación de las hileras de grano. Conforme la planta se acerca a la VT, la humedad de la tierra y su disponibilidad de nutrientes son cruciales para la determinación del rendimiento.	45	
VT	Última rama de la panícula o panoja es visible.	55	
R0	Antesis o floración masculina. Liberación de polen.	57	
R1	Emisión de los estigmas. Fecundación.	59	
REPRODUCTIVA	R0	Antesis o floración masculina. Liberación de polen.	57
	R1	Emisión de los estigmas. Fecundación.	59
	R2	Etapas de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.	71
	R3	Etapas lechosas. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.	80
	R4	Etapas masosas. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.	90
REPRODUCTIVA	R5	La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una "línea de leche" cuando se observa el grano desde el costado	102
	R6	Madurez fisiológica. Cosecha.	112

Nota. Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (*Zea mays L.*) con fines de fitomejoramiento. Recuperado de (Ríos, 2021).

Maíz dulce

El maíz es una planta monoica periódica anual, su tallo es una caña maciza, erguida con 8 o más nudos. Por otro lado, la altura es muy variada, respondiendo a factores genéticos y ambientales, sus raíces primarias originadas en la primera etapa de desarrollo son sustituidas por raíces que brotan posteriormente de los primeros 4-5 nudos del tallo (Parera, 2017).

El maíz dulce difiere del maíz común por una mutación que causa en los granos una acumulación de azúcares dos veces mayor y mucho menos almidón. El maíz dulce común tiene un gen estándar llamado Sugary 1 (su1), cuya función es codificar una isoamilasa en la síntesis del almidón en el endosperma (Dinges *et al.*, 2001), lo que previene o retarda la conversión normal de azúcar en almidón durante su desarrollo, entonces el grano acumula un polisacárido soluble en agua llamado "fitoglicógeno" en lugar de almidón (Brown *et al.*, 1985).

Condiciones ambientales para el desarrollo vegetativo

En el maíz dulce, se necesita como mínimo una temperatura del suelo igual a 15 °C para obtener una germinación pronta y uniforme. Las temperaturas para el desarrollo vegetativo deben oscilar entre los 24 °C y 30 °C para que beneficien considerablemente la tasa de crecimiento. Si se presenta temperaturas mayores a 35 °C y baja humedad relativa altera la vitalidad del polen perturbando la fecundación y el desarrollo del grano, teniendo como resultado mazorcas incompletas. Finalmente, si se presentan temperaturas superiores a 40 °C el crecimiento de la planta se detiene (Parera, 2017).

Prueba de germinación estándar

La certificación de la calidad fisiológica de semillas se basa en la prueba de germinación estándar, la cual tiene por objeto determinar la viabilidad de un lote de semillas, esta prueba se la realiza en el laboratorio en condiciones favorables de factores como luz, aire, temperatura, humedad y sanidad, de esta manera los resultados de la misma semilla en almacigo en ocasiones son menores a los porcentajes reportados por dicha valoración. Esto se debe a que el agricultor asume que el porcentaje de emergencia es un sinónimo de germinación, además,

las condiciones ambientales en campo o invernadero, son menos favorables a las establecidas en el laboratorio.

La metodología más utilizada para la realización de esas pruebas es la prueba de germinación “estándar entre papel”.

El desarrollo de germinación está compuesto por tres etapas que son la absorción de agua, seguida de la activación del metabolismo, síntesis de proteínas y carbohidratos, degradación de reserva y por último el progreso del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa la emergencia de radícula y posteriormente la plúmula o tallo (García *et al.*, 2016).

Evaluación de vigor de plántulas

En las semillas el vigor es el potencial biológico que favorece la implantación rápida y uniforme incluso en condiciones poco favorables las cuales generan estrés. (Gonzales *et al.*, 2008). Cuando la semilla alcanza la madurez fisiológica es cuando se muestra el mayor vigor y potencial germinativo (García *et al.*, 2016).

Los ensayos de vigor proporcionan beneficios prácticos los mismos que se utilizan en programas de mejora genética en el avance de cultivares con un desarrollo apto de las semillas. Otra de sus aplicaciones es el estudio de la elaboración de semilla, acondicionamiento, cosecha y almacenamiento.

Actualmente las pruebas de germinación y de vigor, se emplean para definir el impacto generado en las semillas y plántulas por los tratamientos de nano partículas (NPs), nanotubos de carbono (NTC), grafito u óxido de grafeno (García *et al.*, 2016).

Micronutrientes impregnados

Los seres vivos requieren nutrientes esenciales para su desarrollo, en las plantas la falta de estos genera variaciones estructurales y fisiológicas en las diferentes variedades vegetales. Se los puede dividir en micronutrientes (boro, zinc, cobre, cloro, hierro, manganeso, molibdeno y

níquel) y macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio) (Pérez y Pérez, 2013).

En el suelo la cantidad de micronutrientes puede presentar variaciones debido a factores como la textura, la materia orgánica y, primordialmente por el pH del suelo (Leite *et al.*, 2003), puesto que este último disminuye la disponibilidad de cobre, manganeso y zinc (Caires y Fonseca, 2000) a causa de la competencia de estos nutrientes y los grupos de hidróxido liberados por la aplicación de cal en la tierra (Dourado Neto *et al.*, 2015).

En el cultivo del maíz dulce la fertilización con zinc es un proceso aplicado recientemente, se lo puede realizar de distintas maneras, obteniendo diversos resultados en cada forma de aplicación (Pérez y Pérez, 2013).

Zinc en plantas

Es un elemento imprescindible para la nutrición de la especie vegetal puesto que interviene en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como también en el metabolismo de las células y cumple funciones que ningún otro elemento puede realizar (Broadley *et al.*, 2012). La porción de zinc que necesitan las plantas está por debajo del 0.1% del peso seco del tejido, es decir, alrededor de los 15 a 20 miligramos por kilogramo de tejido seco (Amezcuca y Lara, 2017).

El zinc es necesario en el metabolismo de la hormona vegetal AIA, también, facilita la activación de enzimas, síntesis de pigmentos fotosintéticos, producción de clorofila y síntesis de nucleótidos, es esencial en la formación de auxinas, las cuales aportan en la regulación del desarrollo y a la elongación del tallo (Stanković *et al.*, 2010).

Generalmente el déficit de zinc en las siembras se debe a la baja disponibilidad o extenuación del suelo, esto conlleva a presenciar inconvenientes en el crecimiento y desarrollo del cultivo, presenciando síntomas importantes como la obtención de plantas pequeñas, reducción de clorofila lo cual genera pigmentaciones amarillas y muerte de ápices de las hojas (Amezcuca y Lara, 2017).

Los órganos reproductores de las plantas también presentan afectaciones a causa del déficit del Zn puesto que producen infertilidad del polen, lo que provoca menor producción de granos y semilla. (Amezcuca y Lara, 2017). En el cultivo de maíz la carencia de este micronutriente se presenta generalmente en las primeras semanas y se puede identificar debido a la presencia de líneas amarillentas entre las nervaduras de la hoja por lo que requiere la aplicación de fertilizantes inorgánicos de Zn en esta etapa (Ratto y Miguez, 2006).

Sulfato de Zinc

El sulfato de zinc, es un fertilizante que aporta zinc al suelo, este producto es totalmente soluble en el agua, es incoloro o blanco, inodoro y su aspecto es granulado o en forma de cristales, Zinc Industrias Nacionales (ZINSA, 2018).

En el sector agrónomo es utilizado para prevenir y corregir las carencias de este micronutriente en las siembras. Es un producto apropiado para aplicación foliar, fertirrigación y goteo en los sistemas de riego o hidroponía (ZINSA, 2018).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

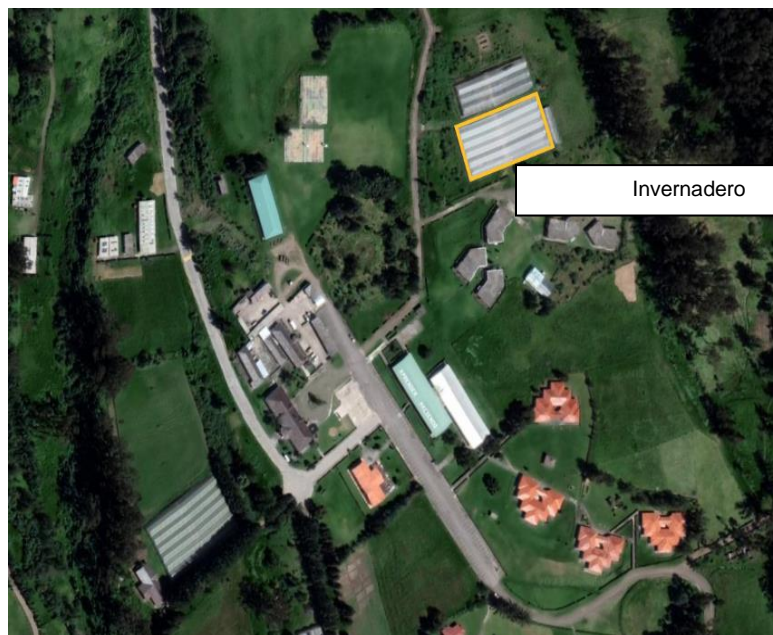
Ubicación y características del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Hacienda el Prado, campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria-IASA I, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el invernadero de horticultura ubicado en la parroquia San Fernando, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. El cual geográficamente se localiza en las siguientes coordenadas, 0°23'20" S, 78°24'44" O y a una elevación de 2748 (Arce, 2019; Villarreal Gancino, 2018)

La temperatura media a campo abierto de este sector es de 13,96°C y 18.4°C dentro del invernadero. La precipitación anual promedio es de 1285 mm, con humedad relativa a campo abierto de 68% y bajo invernadero 40.16% (Arce, 2019)

Figura 1

Invernadero Horticultura - IASA I



Nota. Ubicación de la fase experimental, adaptado de (Google Earth, 2022).

Manejo del ensayo

Análisis de suelo

Previo a la implementación del ensayo, se procedió a recolectar muestras de suelos en seis puntos, dentro del perímetro del ensayo, donde se mezclaron y homogenizaron las muestras, para enviar 1 kg de muestra, para ser analizados en el laboratorio (Estación Experimental Santa Catalina en el laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas) (Tabla 3).

Tabla 2

Análisis de suelo previo a la implementación del proyecto

Parámetro analizado	Unidad	Resultado	Interpretación - INIAP Santa Catalina
pH	7,53	---	Ligeramente Alcalino
N	142	Ppm	Alto
P	248,9	Ppm	Alto
S	7,30	Ppm	Bajo
B	0,44	Ppm	Bajo
K	0,36	Ppm	Medio
Ca	18,22	Ppm	Alto
Mg	4,03	Ppm	Alto
Zn	6,7	Ppm	Medio
Cu	9,0	Ppm	Alto
Fe	353	Ppm	Alto
Mn	9,06	Ppm	Medio

Nota. pH en agua (1:2,5); S, B = Fosfato de Calcio; P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn= Olsen Modificado; C.E.= Pasta Saturada; M.O.= Dicromato de Potasio; Al+H= Titulación NaOH. Resultados de laboratorio INIAP.

Preparación del terreno

El terreno se preparó de forma manual, en toda el área del proyecto, donde se retiró el cultivo anterior (Col) y se desmalezó, para luego preparar las camas a cultivar de 0,80 m de ancho, 16 m de largo, 0,15 m de alto y 0,60 m de ancho camino, con la asistencia de estacas y piola, acorde a la (Figura 1). Cada cama fue fraccionada en nueve parcelas para dar un total de 27 unidades experimentales.

Siembra y Trasplante

Previo a la siembra, la semillas de maíz dulce ADV 9139, se remojaron por 12 horas, luego se sembraron en seis bandejas de 98 alveolos, las mismas que fueron llenadas con sustrato (tierra negra+cascajo+turba rubia) y colocando una semilla por alveolo, una vez realizada la siembra, las bandejas fueron colocadas en una cámara de germinación a una temperatura de 20 a 28 °C y una humedad relativa del 90 al 95%, para acelerar este proceso ya que la misma tenía concentraciones de humedad y temperatura mayor a relación del invernadero, estas se mantuvieron en la cámara de germinación hasta que alcanzaron los 10 cm de altura.

El trasplante se lo realizó a los 12 días, con una altura de plántula de 10 cm, en las camas previamente preparadas y humedecidas por 24 horas hasta llegar a capacidad de campo.

Figura 2

Trasplante de las plantas de maíz (Zea mays L.) variedad ADV 9139



Nota. Autoría propia.

Figura 3

Trasplante de las plantas de maíz (*Zea mays L.*) variedad ADV 9139



Nota. Autoría propia.

Control de plagas y malezas

Cuando hubo la presencia del gusano trozador (*Helicoverpa armígera*) se aplicó Chlorpyrifos (CLORPILAQ® 48), en una dosis de 1 L.Ha⁻¹. El control de malezas se lo realizó de forma manual cada 2 semanas teniendo un control post-emergente.

Riego

El riego del cultivo, fue mediante goteo, para lo cual se instaló a la siembra dos cintas de riego de 16 metros con goteros cada 20 cm, en los laterales de cada cama, aplicando una frecuencia de riego 2,1 L.H⁻¹ cada 48 horas, dependiendo de la temperatura y la evapotranspiración.

Biofortificación

Para la biofortificación se utilizó sulfato de Zn monohidratado, en la etapa vegetativa V9 (cuando la planta de maíz, saca la novena hoja incluyendo la hoja bandera) de las plantas y la aplicación se la realizó vía foliar y edáfica y combinada (foliar- edáfica).

Para la vía foliar se aplicó 30 y 40 mg.L⁻¹ de Zn, diluyéndolo previamente en agua con el adherente Poly-1-p-Menthene al 96% (ECUAQUÍMICA) (1 cc.L⁻¹) para generar una mejor impregnación del microelemento y posteriormente se aplicó mediante aspersion con la ayuda de una bomba manual de 5 litros a todas las hojas y tallos, según los tratamientos establecidos.

Mientras que para la vía edáfica se aplicó 60 y 80 mg.L⁻¹ de Zn mediante Drench, con una bomba manual de 5 litros en la base del tallo de cada una de las plantas.

Para la aplicación combinada (foliar-edáfica) se diluyó el sulfato de zinc monohidratado (30 mg.L⁻¹ Foliar+60 mg edáfica y 40 mg foliar +80 edáfico mg.L⁻¹ de Zn) en agua, para las aplicaciones foliares se añadió el adherente Poly-1-p-Menthene al 96% (ECUAQUÍMICA) (1 cc.L⁻¹) para generar una mejor impregnación del microelemento. Luego la forma de aplicación se la realizó de la misma manera que en las dos estrategias anteriores (Foliar-edáfica).

Características agronómicas de la planta

Altura de la planta

La altura de las plantas de maíz se midió antes de aplicar los tratamientos en la etapa V9 y posteriormente cada semana. La forma de medir la altura de las plantas fue con la ayuda de un flexómetro desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja bandera.

Diámetro del tallo

El diámetro de los tallos de las plantas de maíz se los tomó antes de aplicar los tratamientos en la etapa V9 y posteriormente cada semana. Se midió con una cinta métrica a 5 cm de la base del tallo.

Medición de clorofila en campo

La clorofila en campo de las plantas de maíz se la tomó antes de aplicar los tratamientos en la etapa V9 y cada semana. Para analizar dicha variable se utilizó un medidor de clorofila en la misma hoja todas las semanas hasta la última medición del presente ensayo.

Producción de materia seca (MS)

A los 120 días post germinación de las plantas de maíz dulce se procedió a tomar las muestras de cada uno de los tratamientos. Una vez realizada la última medición de los datos en campo (altura, diámetro del tallo, clorofila en campo), se procedió a tomar de cada tratamiento una planta de cada unidad experimental. Una vez seleccionadas las tres plantas por tratamiento se dividió cada una en tres secciones (alta, media y baja) y se lavaron cada una de las muestras con agua destilada y jabón neutro. Se escurrió el agua de las muestras y se pesó una libra de cada muestra homogenizada, para colocarlas posteriormente en bolsas de papel dentro de una estufa por 24 horas a 90 °C. Culminado el proceso de secado se pesó cada una de las muestras homogenizadas en una balanza analítica y su resultado se expresó en gramos por muestra.

Medición de clorofila a y b

La medición de clorofila se lo realizó mediante el método de (Harborne, 1973) con el uso de un espectrofotómetro, para lo cual previamente se tomó muestras de las hojas de las plantas de maíz dulce de todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones. Una vez obtenida cada una de las muestras, se las lavó con jabón neutro y se las dejó secar. Posteriormente secada las hojas se pesó una muestra de 0,25 g y luego se procedió a macerar con la ayuda de un mortero por cada muestra para evitar alteraciones en los datos y se agregó 3 mL de etanol al 95%, ya macerada la muestra con etanol se colocó en tubos de ensayo cubiertos previamente con papel aluminio para evitar el contacto con la luz. Se dejó reposar por 24 horas.

Transcurrida las 24 horas en reposo de las muestras se procede a aforar a 6,25 mL con etanol al 95% y se llevó a centrifugar los tubos con las muestras por 15 minutos a 10.000 revoluciones por minuto, centrifugadas las muestras se tomó 3 mL del sobrenadante de cada una con la ayuda de una micropipeta para colocar en una celda y proceder a leer en el espectrofotómetro la absorbancia a 645 y 663 nm.

Ecuaciones usadas para la medición de clorofila a y b con el solvente etanol al 95% son:

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

(Harborne, 1973).

Preparación de muestras y Análisis de laboratorio para la determinación de Zn

Las plantas utilizadas para los análisis se procedieron a dividir en tres partes (alto, medio y bajo) y se homogeneizó según la sección y el tratamiento respectivo, luego se las lavo con jabón neutro para eliminar impurezas.

Para la determinación de Zn se tomaron las muestras y se las colocó en una estufa a 98 °C por 12 horas para secarlas y molerlas, en un molino de mano cada una. Luego, se calcinó en una mufla a 500 °C durante un periodo de tiempo de 8 horas, una vez obtenida la muestra calcinada se humedeció con 2 mL de agua destilada para luego adicionarle 10 mL de (HCL 2 mol L⁻¹). Se procedió a calentar la muestra en la plancha eléctrica dentro de la cámara de flujo laminar hasta llegar a un punto de ebullición. Luego se filtraron las muestras a través de papel filtro, recolectando el filtrado en un balón de aforo de 100 mL. Luego se filtraron las muestras previo la lectura de zinc, con un filtro millipore de 0.22 μm x 30 milímetros y se realizó la lectura de cada una de las muestras en el equipo de absorción atómica.

Diseño experimental

El experimento se lo realizó con la preparación de una solución con una concentración de Zn, a partir de ZnSO₄ con agua destilada. La aplicación foliar, edáfica y combinada se dará en la fase vegetativa y el modelo que se empleó en este estudio corresponde a un diseño en bloques completamente al azar con arreglo bifactorial 3x3 con tres repeticiones bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = u + M_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : altura de la planta y numero de hojas, ppm de Zn

μ : media general

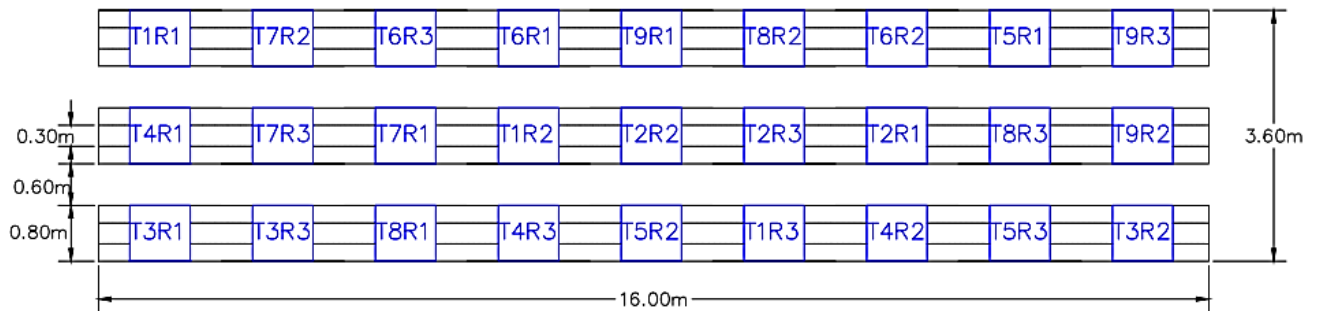
M_i : efecto del i -ésimo método de aplicación

e_{ij} : error experimental

Características de las unidades experimentales

Figura 4

Disposición de las unidades experimentales



Nota. Los códigos correspondientes a cada unidad experimental (azul) se detallan en la (Tabla 3).

Autoría propia.

Factores de estudio

Los factores de estudio fueron: Método de aplicación foliar con dosis (30 y 40 mg de zinc), método de aplicación edáfico con dosis (60 y 80 mg de zinc) y el método de aplicación foliar más edáfico con dosis (30+60 y 40+80 mg de zinc).

Tabla 3

Tratamientos de Zn con diferentes métodos de aplicación a distintas dosis

Presentación	Dosis (mg.L ⁻¹)	Método de aplicación	Tratamiento
Testigo	0	Ninguno	T1R1
	0	Ninguno	T1R2
	0	Ninguno	T1R3
Zn	30	Foliar	T2R1
	30	Foliar	T2R2

Presentación	Dosis (mg.L ⁻¹)	Método de aplicación	Tratamiento
	30	Foliar	T2R3
	40	Foliar	T3R1
	40	Foliar	T3R2
	40	Foliar	T3R3
Testigo	0	Ninguno	T4R1
	0	Ninguno	T4R2
	0	Ninguno	T4R3
Zn	60	Edáfico	T5R1
	60	Edáfico	T5R2
	60	Edáfico	T5R3
	80	Edáfico	T6R1
	80	Edáfico	T6R2
	80	Edáfico	T6R3
Testigo	0	Ninguno	T7R1
	0	Ninguno	T7R2
	0	Ninguno	T7R3
Zn	30+60	Foliar+Edáfico	T8R1
	30+60	Foliar+Edáfico	T8R2
	30+60	Foliar+Edáfico	T8R3
	40+80	Foliar+Edáfico	T9R1
	40+80	Foliar+Edáfico	T9R2
	40+80	Foliar+Edáfico	T9R3

Nota. Especificaciones de las dosis y métodos de aplicación de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. Autoría propia.

Análisis estadístico

Las variables de estudio se caracterizaron mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar), así como la valoración de normalidad y homocedasticidad, para evaluar el efecto de las estrategias de biofortificación con zinc sobre los parámetros de crecimiento y contenido nutrimental (ANAVA). Luego, se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey. Todos los análisis fueron realizados en el software Infostat con un nivel de significancia del 5%.

Variables de estudio

Para todas las variables agronómicas se seleccionaron 5 plantas al azar de cada unidad experimental. Las plantas fueron etiquetadas y analizadas semanalmente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Altura de planta

La variable altura de planta (cm) en las plantas de maíz dulce presentó diferencias significativas con respecto al método de aplicación y dosis del sulfato de zinc con ($F_{6;20} = 2,80; p = 0,0381$). Las plantas de maíz dulce con método de aplicación edáfica y dosis de 80 (mg/L^{-1}) presentó un mayor valor con una media de 248,00 cm y una desviación estándar de 12,21 (Tabla 4).

Tabla 4

Media \pm DE, de la altura de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y métodos de aplicación

Dosis (mg.L^{-1})	Método de aplicación	Total (cm)	
80	Edáfica	248,00 \pm 12,21	a
40+80	Combinada	230,07 \pm 8,17	ab
0	Testigo	222,76 \pm 15,47	ab
30+60	Combinada	222,40 \pm 12,63	ab
60	Edáfica	221,60 \pm 9,74	ab
30	Foliar	219,33 \pm 8,31	ab
40	Foliar	205,73 \pm 15,90	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0,05$). Autoría propia.

Diámetro de la planta

La variable diámetro de la planta (cm) de las plantas de maíz dulce, no presentó diferencias significativas bajo diferentes dosis y formas de aplicación del sulfato de zinc ($F_{6;20} = 1,43; p = 0,2509$).

Clorofila de la planta

La variable clorofila de la planta en las plantas de maíz dulce, no presentó diferencias significativas bajo diferentes dosis y formas de aplicación del sulfato de zinc ($F_{6,20} = 1,43; p = 0,2516$).

Clorofila Total

La clorofila total de las plantas de maíz dulce obtenida en laboratorio, presentó diferencias significativas con respecto al método de aplicación del sulfato de zinc y dosis (mg/l^{-1}) con ($F_{6,20} = 20,84; p = 0,0001$). La mayor clorofila total de las plantas de maíz dulce determinada en ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), se tiene que es el método de aplicación foliar con una dosis de 30 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y una media de 57,97 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y una desviación estándar de 0,16, es significativamente diferente al resto de tratamientos (Tabla 5).

Tabla 5

Media \pm DE, de la clorofila total ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y diferentes métodos de aplicación

Dosis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Método de aplicación	Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	Clorofila b ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	Total ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)
30	Foliar	24,93 \pm 0,25	a 33,04 \pm 0,12	a 57,97 \pm 0,16
30+60	Combinado	25,75 \pm 0,31	a 25,84 \pm 0,21	b 51,76 \pm 0,27
40	Foliar	25,93 \pm 0,15	a 23,12 \pm 0,11	b 51,59 \pm 0,16
0	Testigo	25,01 \pm 0,75	a 33,37 \pm 3,48	b 50,48 \pm 2,87
80	Edáfico	26,06 \pm 0,26	a 24,29 \pm 0,15	b 50,35 \pm 0,11
40+80	Combinado	25,82 \pm 0,51	a 25,94 \pm 0,24	b 50,00 \pm 0,23
60	Edáfico	26,00 \pm 0,32	a 24,01 \pm 0,08	b 49,04 \pm 0,05

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0,05$).

Autoría propia.

Materia Seca

Para la variable materia seca de las plantas de maíz dulce, presentó diferencias significativas con respecto al método de aplicación del sulfato de zinc y dosis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) con ($F_{6,20} = 23,45; p = 0,0001$). Para lo cual la mayor cantidad materia seca de las plantas de maíz dulce determinada en ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), se tiene que es el método de aplicación combinada con una

dosis de 40 (mg.L⁻¹) foliar y 80 (mg.L⁻¹) edáfico es significativamente diferente al resto de tratamientos con una media de 346,72 (g.kg⁻¹) y una desviación estándar de 1,08 (Tabla 6).

Tabla 6

Media ± DE, de la materia seca de la planta de maíz dulce (gr), expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L⁻¹) y diferentes métodos de aplicación

Dosis (mg.L ⁻¹)	Método de aplicación	Total	
40+80	Combinado	346,72±1,08	a
30	Foliar	316,11±1,03	ab
80	Edáfico	293,65±0,97	bc
60	Edáfico	291,88±1,25	bc
30+60	Combinado	264,69±0,91	c
40	Foliar	262,35±1,34	c
0	Testigo	261,12±20,59	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0,05$). Autoría propia.

Contenido de Zinc

El contenido de zinc en las muestras de las plantas de maíz dulce de acuerdo a la sección de la planta (alto, medio, bajo), presentó diferencias significativas con respecto al método de aplicación del sulfato de zinc, sección de la planta y dosis (mg.L⁻¹) con ($F_{12;60} = 4,90; p = 0,0001$). Para lo cual se tiene que el mejor tratamiento es el que se aplicó vía foliar con una dosis de 30 (mg.L⁻¹), el mismo que tuvo diferencia significativa en cuanto a la concentración de zinc en la sección alta de la planta de maíz dulce con una media de 32,43 (mg.L⁻¹) y una desviación estándar de 0,38 (Tabla 7).

La variable, contenido de zinc en las muestras de las plantas de maíz dulce por sección de la planta (alto, medio, bajo), se encontró diferencias significativas con respecto a la sección de la planta con ($F_{2;78} = 3,89; p = 0,0245$), siendo la sección media la más significativa con una media de 22,08 (mg.L⁻¹) y una desviación estándar de 6,35 (Tabla 7).

Para el total por tratamiento de la variable contenido de zinc en las plantas de maíz dulce tiene un ($F_{6;20} = 18,78; p = 0,0001$), se tiene que el tratamiento que presento una mayor significancia es el tratamiento con método de aplicación foliar con una dosis de 30 (mg.L⁻¹), el mismo que tuvo una media de 84,74 (mg.L⁻¹) y una desviación estándar de 0,68 (Tabla 7).

Tabla 7

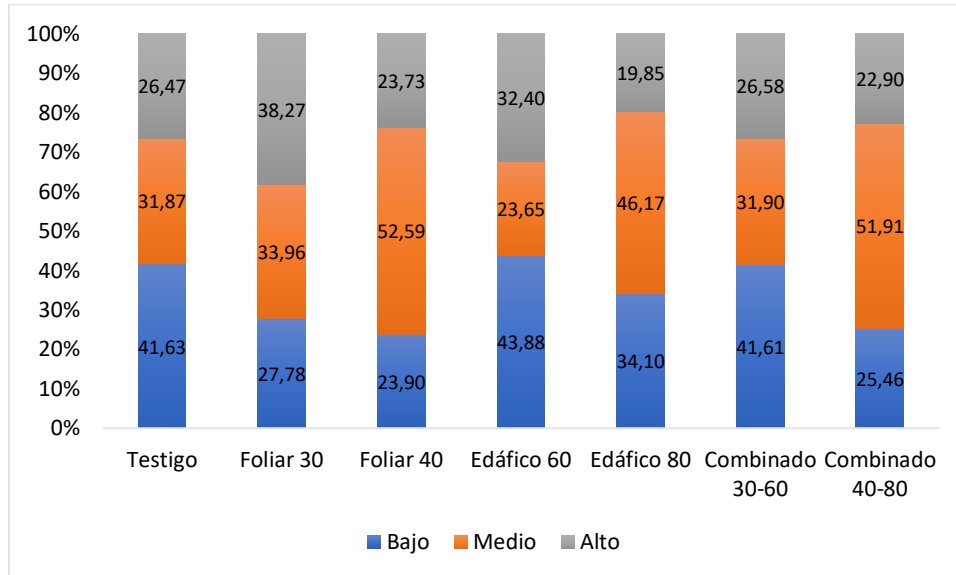
Media \pm DE, del contenido de zinc en la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L⁻¹) y métodos de aplicación.

Dosis (mg.L ⁻¹)	Método de aplicación	Alto (mg.L ⁻¹)	Medio (mg.L ⁻¹)	Bajo (mg.L ⁻¹)	Total (mg.L ⁻¹)
0	Testigo	19,04 \pm 7,78 b	22,93 \pm 3,29 bc	29,95 \pm 10,69 a	71,92\pm11,42 ab
30	Foliar	32,43 \pm 0,38 a	28,78 \pm 0,14 a	23,54 \pm 0,18 ab	84,74\pm0,68 a
40	Foliar	12,36 \pm 0,43 b	27,39 \pm 0,40 ab	12,45 \pm 0,49 b	52,20\pm1,03 c
60	Edáfico	12,00 \pm 0,18 b	8,76 \pm 0,46 e	16,25 \pm 0,50 ab	37,00\pm0,89 c
80	Edáfico	8,67 \pm 0,29 b	20,16 \pm 0,44 cd	14,89 \pm 0,51 ab	43,72\pm1,20 c
30+60	Combinado	13,99 \pm 0,53 b	16,79 \pm 0,37 d	21,90 \pm 0,16 ab	52,67\pm0,88 c
40+80	Combinado	12,38 \pm 0,14 b	28,06 \pm 0,15 ab	13,76 \pm 0,50 ab	54,20\pm0,79 bc
	Promedio	16,55\pm8,01 b	22,08\pm6,35 a	21,40\pm9,22 ab	

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0,05$). Autoría propia.

Figura 5

Contenido de zinc expresado en porcentaje, en diferentes secciones de la planta de maíz dulce, expuestos a distintas dosis de sulfatos de zinc (mg.L^{-1}) y métodos de aplicación



Nota. Autoría propia.

El método de aplicación foliar 30 a 40 mg.L^{-1} en las secciones de alto 38,27% y medio 52,59% cuando fueron tratadas respectivamente, en cuanto a la sección baja el método de aplicación edáfico con dosis de 60 mg.L^{-1} tuvo el 43,38%.

Longitud de raíz

La variable longitud de raíz en cm en las plantas de maíz dulce, no se presentó diferencias significativas bajo diferentes dosis y formas de aplicación del sulfato de zinc ($F_{6;20} = 0,94; p = 0,4888$).

Discusión

El maíz es uno de los principales cereales de consumo humano, por lo que al aplicar ciertos microelementos como el zinc eleva su potencial para la alimentación humana y animal, obteniendo beneficios como incremento de la capacidad intelectual, disminución enfermedades respiratorias y mejoramiento del sistema inmunológico. El zinc al ser un elemento poco móvil

requiere de la aplicación de ciertas estrategias específicas (foliar, edáfica y combinada) como las ya desarrolladas en este trabajo.

En estudios previos sobre la biofortificación de maíz, (Debnath *et al.*, 2016) menciona que, los diferentes niveles de zinc en el maíz influyen significativamente sobre parámetros agronómicos (altura), en plantas de maíz. Cuando son tratadas con ZnSO_4 mediante aplicación edáfica 25 Kg.Ha^{-1} , en comparación a los resultados obtenidos en el presente trabajo, la mayor altura de las plantas se alcanzó cuando la aplicación fue edáfica en una dosis de $80 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ (Tabla 4).

La clorofila en las plantas de maíz dulce es esencial, esta es dividida en clorofila a y clorofila b que absorben la luz, pero la encargada de transformar la energía lumínica en energía química es la clorofila a. Teniendo en cuenta esto y obtenido los datos de clorofila total se tiene que con un ($F_{6;20} = 20,84; p = 0,0001$) mediante la aplicación foliar el mejor resultado fue con una dosis de $30 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ se obtuvo el mejor resultado en comparación al resto de tratamientos (Tabla 5). (Naik *et al.*, 2020) menciona en su estudio que mediante el método de aplicación foliar a edades tempranas se obtiene mayores porcentajes de clorofila en comparación a métodos combinados.

De acuerdo a (Amutham *et al.*, 2021), la máxima producción de materia seca en maíz se obtiene con la aplicación de ZnSO_4 , 25 Kg.Ha^{-1} foliar en conjunto con aplicación edáfica $37,5 \text{ kg.Ha}^{-1}$. En la presente investigación el tratamiento que presentó valores más elevados de materia seca en las plantas de maíz dulce fue el método de aplicación combinado con una dosis de $40 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ foliar y $80 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ edáfico (Tabla 6). Esto tendría repercusiones positivas en la obtención de forraje con mayor contenido de materia seca para ensilaje biofortificado con zinc y por ende una mejor nutrición de las especies animales a suministrarse.

Plantas de maíz tratadas con zinc en dosis de $30 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ mediante aplicación foliar, presentaron una mayor concentración de este microelemento $32,43 \text{ (mg.L}^{-1}\text{)}$ al cuantificarse por absorción atómica. (Cheah *et al.*, 2022), afirma que la tasa más elevada de este microelemento

se incrementó con aplicaciones foliares elevándose en un 68% más, a diferencia de aquellas plantas tratadas de forma edáfica. En consecuencia, afirma que los diferentes factores que pueden reducir la biodisponibilidad del Zn en el suelo reducen la efectividad de la absorción del mismo, demostrado en la presente investigación (Tabla 7).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Analizando los resultados obtenidos en el presente trabajo, se evidencia que plantas de maíz dulce variedad ADV 9139 al ser tratadas mediante método de aplicación foliar alcanzan mejores resultados en contraste a los métodos de aplicación edáfico y combinado.
- Plantas de maíz dulce Variedad ADV 9139 al ser tratadas con zinc en dosis de 30 a 40 mg.L⁻¹, muestra mejores resultados en cuanto a valores agronómicos (altura, clorofila total, materia seca, contenido de zinc en la planta) con respecto a plantas testigo.

Recomendaciones

- Se recomienda para tratamientos de biofortificación con zinc en plantas de maíz dulce, realizarlo mediante el método de aplicación foliar a una dosis de 30 (mg.L⁻¹) a 40 (mg.L⁻¹) de zinc.
- Realizar estudios enfocados a la biofortificación en campo con zinc en variedades mejoradas, se presume que este microelemento no esté en concentraciones recomendadas en la nutrición humana, teniendo en cuenta que estos estudios culminen con el análisis de zinc en el grano proveniente de la planta.
- Previamente a la implementación de un cultivo que va a ser biofortificado con uno o más microelementos, realizar un análisis de suelo completo, para según eso determinar el tipo de manejo y dosis a aplicarse.

Bibliografía

- Amezcuca, R. J. C., y Lara, F. M. (2017). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, 68.
<https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-68-numero-3/421-el-zinc-en-las-plantas>
- Amutham, G. T., Karthikeyan, R., Thavaprakash, N., y Bharathi, C. (2021). Agronomic biofortification with zinc on yield, nutritional quality, nutrient uptake and economics of babycorn. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(SI), 80–85.
<https://doi.org/10.31018/jans.v13iSI.2804>
- Arce, C. M. (2019). 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>
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., y Zhao, F. (2012). Function of Nutrients: Micronutrients. In *Nutrición mineral de plantas superiores de Marschner: Vol. Tercera Edición* (pp. 191–248). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Brown, W. L., Zuber, M. S., DarraH, L. L., y Glover, D. V. (1985). *Origin, Adaptation, and Types of Corn ORIGIN OF CORN*. <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/NCH10.pdf>
- Caires, E. F., y Fonseca, A. (2000). Fertilidade do solo e nutrição de plantas absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície (1) Eduardo Fávero Caires (2,4) ; Adriel Ferreira Da Fonseca (3). *Bragantia*, 59(2), 213–220. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200013>
- Cheah, Z. X., Harper, S. M., O'Hare, T. J., Kopittke, P. M., y Bell, M. J. (2022). Improved agronomic biofortification of sweetcorn achieved using foliar rather than soil Zn applications. *Cereal Chemistry*, 99(4), 819–829. <https://doi.org/10.1002/cche.10539>

- Debnath, P., Hemalatha, S., Sreelatha, D., y Madhavi, A. (2016). Effect of zinc fertilizer dosages on growth and yield of speciality corn. In *Andhra Pradesh J Agril. Sci* (Vol. 2, Issue 4). <https://sasapjas.org/wp-content/uploads/2019/01/07-6.pdf>
- Dinges, J. R., Colleoni, C., Myers, A. M., y James, M. G. (2001). Molecular structure of three mutations at the maize sugary1 locus and their allele-specific phenotypic effects. *Plant Physiology*, 125(3), 1406–1418. <https://doi.org/10.1104/pp.125.3.1406>
- Dourado Neto, D., Thomas Newton, M., Pavinato, P. S., Russi Nunes, U., dos Santos Escobar, O., y Monçon Fipke, G. (2015). The corn seed treatment with micronutrients increases grain yield. *Revista Caatinga*, 28(3), 86–92. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n310rc>
- FAO. (1993). Food and Agriculture Organization. *El maíz en la nutrición humana*. (25th ed., Vol. 25). <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>
- García, L. J. I., Ruiz, T. N. A., Lira, Saldivar. R. H., Vera, R. I., y Méndez, A. B. (2016). *Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas*. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/T%C3%A9cnicas%20Para%20Evaluar%20Germinaci%C3%B3n,%20Vigor%20y%20Calidad%20Fisiol%C3%B3gica%20de%20Semillas%20Sometidas%20a%20Dosis%20de%20Nanopart%C3%A9culas.pdf>
- Google Earth. (2022). Mapa Satelital del invernadero de Horticultura (Carrera Agropecuaria Universidad de las fuerzas Armadas ESPE). IASA I. <https://earth.google.com/web/@-0.38574201,-78.41622192,2718.77155198a,1012.36750187d,35y,0h,0t,0r>

- Guacho, A. E. F. (2014). "*Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad san José de Chazo.*" [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3455>
- Harborne, J. B. (1973). Phenolic Compounds. In J. B. Harborne (Ed.), *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis* (pp. 33–88). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-5921-7_2
- Hilton, B. (2017). *Cultivos biofortificados*. ECHO Development Notes.
<https://www.echocommunity.org/es/resources/1bc6309b-7efb-4c80-ba57-7f262acb9897>
- INTAGRI. (2019, January). Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. *Biofortificación de Cultivos con Zinc*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/biofortificacion-de-cultivos-con-zinc?p=registro#>
- Intriago, R. L. E. (2021). *Efecto del tratamiento de semillas con Zn sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (Zea mays L.) var. Bandit*. [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26766>
- Kirkby, E., y Römheld, V. (2008). *Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad*. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/\\$FILE/Micronutrientes%20en%20la%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/$FILE/Micronutrientes%20en%20la%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas.pdf)
- Leite, U. T., Boanerges, Aquino, F. De, Nonato, R., Rocha, C., Jaeveson, y Silva, D. (2003). Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho leaf boron, copper, manganese and zinc critical levels in maize. *Review Article Biosci. J*, 19(2), 115–125.
<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6461/4195>

- Naik, M., A, A., Meena, M., y YM, R. (2020). Physiological assessment of iron and zinc biofortification on growth and yield parameters of sweet corn. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 1910–1914. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1ab.8546>
- Padrón, H. M. (2011). La biofortificación del arroz con micronutrientes: una estrategia nutricional que puede ser sostenible en Cuba. In *Rev Cubana Aliment Nutr* (Vol. 21, Issue 1). <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/555>
- Parera, C. A. (2017). *Producción de maíz dulce* (1ra. Edición). https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu8734_inta_asaho_web_maiz_dulce_v1.pdf
- Pérez, G., y Pérez, A. (2013). Fertilización con Zinc en el cultivo de maíz Fertilización con Zinc en el cultivo de maíz con Zinc en el cultivo de maíz: Impregnación de fertilizantes fosforados. *INTA*, 1. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-con-zinc-en-el-cultivo-de-maiz-2012-2013.pdf>
- Ratto, S. E., y Miguez, F. H. (2006). *zinc-en-el-cultivo-de-maiz-deficiencia-de-oportunidad*. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/09/4.pdf>
- Ríos, A. C. A. (2021). *Caracterización morfoagronómica y fisicoquímica de 15 accesiones de maíz (zea mays l.) con fines de fitomejoramiento* [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16564>
- Ruiz, L. E. M. (2022). *Evaluación de estrategias de biofortificación con enfoque agronómico sobre la concentración de zinc en maíz dulce (Zea mays L.) var. Saccharata* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35914/1/IASA%20I-TT-0041.pdf>
- Sánchez, O. I. (2014). Maíz I (Zea mays). *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*, 7(2), 151–171. <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739/1776>

Stanković, M., Topuzović, M., Marković, A., Pavlović, D., Đelić, G., Bojović, B., y Branković, S. (2010). Influence of zinc (zn) on germination of wheat (*triticum aestivum* l.). *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 24, 236–239.

<https://doi.org/10.1080/13102818.2010.10817842>

Villarreal Gancino, V. C. (2018). *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (fragaria x ananassa) variedad festival* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14539/T-IASA%20I-005444.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortíz, R., León, J., Campaña, D. †, López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G., Pintado, P., Yáñez, C., y Racines, M. (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana Quito-Ecuador: Vol. Manual Técnico 122* (No 122). Quito, EC: INIAP-EESC, 2021. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>

ZINSA. (2018). *Zinc Industrias Nacionales S.A. Sulfato de Zinc-ZINSA*.

<https://www.zinsa.com/es/derivados-de-zinc/sulfato-de-zinc>