



Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139)

Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián

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.

1 de marzo del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (*Zea mays var. ADV9139*)** fue realizado por el señor **Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián**, 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 analizada 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, 1 marzo del 2023.



Firma electrónica por:
PABLO ANÍBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

C. C.1708262348

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

1/3/23, 10:15

ÁLVARO SEBASTIÁN HINOJOSA BERMEO - TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

TESIS 2023 UTILIZACIÓN

NOMBRE DEL ALUMNO

ÁLVARO SEBASTIÁN HINOJOSA BERMEO

NOMBRE DEL ARCHIVO

ÁLVARO SEBASTIÁN HINOJOSA BERMEO - TESIS

SE HA CREADO EL INFORME

1 mar 2023

Resumen

Fragmentos marcados	11	4 %
Fragmentos citados o entrecorridos	6	2 %

Coincidencias de la Web

ups.edu.ec	2	1 %
alquera.com	3	0,9 %
scielo.org.mx	1	0,7 %
unl.edu.ec	3	0,6 %
eximgro.com	1	0,6 %
intagri.com	2	0,4 %
hidroponiaec.com	2	0,4 %
agronegociosintegrados.blogspot.com	1	0,1 %
espe.edu.ec	1	0,1 %
uncu.edu.ar	1	0,1 %



Firmado digitalmente por:
PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal Mgtr.

C. C.1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián**, con cédula de ciudadanía No1724222045 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (Zea mays var. ADV9139)**, 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, 1 de marzo del 2023

Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián

C.C.: 1724222045



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián**, con cédula de ciudadanía No 1724222045 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la biofortificación con Fe aplicado a maíz dulce (Zea mays var. ADV9139)** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 1 de marzo del 2023

Hinojosa Bermeo, Álvaro Sebastián

C.C.: 1724222045

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se los dedico a mis padres y familia, ya que con su infinito apoyo, cariño, consejos, sabiduría, ejemplo y comprensión me permitieron llegar a este punto para poder culminar esta etapa de mi vida.

A todas las personas allegadas que creyeron en mí y estuvieron ahí apoyándome para no desmayar en este camino que, aunque largo se termina.

Álvaro Sebastián Hinojosa Bermeo

Agradecimiento

A Dios por haberme guiado, cuidado y bendecido durante todo este tiempo. Por ayudarme a salir de todas las situaciones que he tenido y seguir adelante con la frente en alto.

Quiero hacer un agradecimiento al Ing. Pablo Landázuri, por haber impartido todos sus conocimientos que, gracias a sus direcciones con paciencia, sabiduría, respeto y la mayor predisposición me permitió culminar esta investigación durante todo el tiempo de su desarrollo.

Al licenciado Marco Taco que me brindo su ayuda en la fase de laboratorio.

A mis padres y familia quienes han sido el apoyo y motor para poder cumplir este sueño y llegar a esta etapa de vida.

A mi compañera Katherin por su apoyo durante todo el tiempo que compartimos semestres.

A Vero por su apoyo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería Agropecuaria y docentes que me impartieron todos sus conocimientos y sabiduría durante todo este tiempo en la formación de mi vida profesional.

Álvaro Sebastián Hinojosa Bermeo

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	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
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	15
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
Antecedentes	16
Justificación.....	18
Objetivos	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
Hipótesis.....	20
Hipótesis Nula	20
Hipótesis Alternativa.....	20
CAPÍTULO II.....	21
REVISIÓN DE LITERATURA	21
Maíz Dulce	21

Taxonomía del Maíz Dulce	22
Tipos de Maíz Dulce	22
Morfología del Maíz dulce.....	23
Composición Nutricional del Maíz Dulce	23
Importancia del Maíz Dulce	25
Plagas y Enfermedades del Maíz Dulce.....	25
Híbrido ADVANTA 9139	26
Hierro en las Plantas.....	27
Absorción de Hierro por las plantas	27
Estrategia I.....	27
Estrategia II.....	27
Biodisponibilidad del Hierro	28
Fuentes de Hierro	28
Quelato de hierro EDDHA.....	28
Sulfato de hierro	28
Biofortificación.....	29
CAPÍTULO III.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
Ubicación y características del área de estudio.....	32
Análisis de suelo previo a instalación del ensayo	32
Preparación del terreno	33
Siembra.....	33
Control químico de insectos y plagas.....	35
Control de Malezas	35
Riego	35
Diseño Experimental.....	35

Factores Evaluados.....	35
Tratamientos Evaluados.....	36
Tipo de diseño	36
Características de las unidades experimentales	36
Variables.....	37
Análisis Estadístico.....	37
Variables Agronómicas Medidas	37
Biofortificación Foliar	37
Medición de la Altura.....	37
Medición del Diámetro del tallo.....	38
Medición de clorofila en campo.....	39
Longitud de raíces.....	39
Concentración del Hierro Biodisponible (Fe+2).....	40
Determinación de la materia seca de la parte aérea planta y raíz.....	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
Altura total	42
Diámetro total.....	42
Clorofila	43
Hierro biodisponible	44
Peso fresco de planta y raíz	44
Peso seco de planta y raíz.....	45
Porcentaje de materia seca	46
Longitud de raíz.	47
Discusión.....	47
CAPÍTULO V	50

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
Conclusiones.....	50
Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación del Maíz Dulce Clasificación</i>	22
Tabla 2 <i>Composición Nutricional del Maíz Dulce</i>	24
Tabla 3 <i>Plagas del Maíz Dulce</i>	25
Tabla 4 <i>Enfermedades del Maíz Dulce</i>	26
Tabla 5 <i>Análisis de suelo previo a instalación del ensayo</i>	33
Tabla 6 <i>Especificaciones de la siembra</i>	34
Tabla 7 <i>Descripción de los tratamientos</i>	36
Tabla 8 <i>Ecuaciones para la obtención de la clorofila en laboratorio medidas en ug ml -1</i>	41
Tabla 9 <i>Medias \pm error estándar para la altura total</i>	42
Tabla 10 <i>Medias \pm error estándar para diámetro total</i>	42
Tabla 11 <i>Medias \pm error estándar para la clorofila (%), clorofila a, clorofila b y clorofilaT</i>	43
Tabla 12 <i>Medias \pm error estándar del hierro biodisponible</i>	44
Tabla 13 <i>Medias \pm error estándar de peso fresco (PF) de la planta y raíz</i>	45
Tabla 14 <i>Medias \pm error estándar de peso fresco (PS) de la planta y raíz</i>	45
Tabla 15 <i>Medias \pm error estándar de materia seca (MS) de la planta y raíz</i>	46
Tabla 16 <i>Medias \pm error estándar de longitud de raíz (cm)</i>	47

Índice de figuras

Figura 1 <i>Morfología del Maíz Dulce</i>	23
Figura 2 <i>Formas de Biofortificación</i>	30
Figura 3 <i>Invernadero de horticultura-IASA 1</i>	32
Figura 4 <i>Cámara de pregerminado</i>	34
Figura 5 <i>Trasplante de plántulas de maíz</i>	34
Figura 6 <i>Control de malezas postemergente</i>	35
Figura 7 <i>Croquis de las unidades experimentales</i>	36
Figura 8 <i>Hoja Bandera</i>	38
Figura 9 <i>Medición del diámetro de las plantas</i>	38
Figura 10 <i>Medición de clorofila mediante el medidor Hansatech CL-01</i>	39
Figura 11 <i>Medición de la longitud de las raíces</i>	39
Figura 12 <i>Medición del hierro biodisponible en las hojas de maíz</i>	40
Figura 13 <i>Medición de la concentración de clorofila en las hojas de maíz</i>	41

Resumen

El maíz dulce es una variedad híbrida que se cultiva para incrementar la cantidad de azúcar, aportando gran cantidad de calorías, proteínas, vitaminas y minerales; los principales usos son: producción de azúcar, alimento para humanos y animales, mientras que el hierro (Fe) es un micronutriente esencial para las plantas, desempeña funciones claves: crecimiento, respiración, asimilación de nitrógeno y biosíntesis de la clorofila. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la Biofortificación con Fe en maíz dulce *Zea mays* var. ADV9139, para establecer la fuente y dosis más adecuada. La germinación se realizó en bandejas aclimatadas en una cámara de pre germinación acorde a las condiciones del invernadero, una vez que las plantas alcanzaron una altura de 15cm fueron trasplantadas en campo. La biofortificación foliar se realizó en la etapa vegetativa V7, mediante la aplicación de dos fuentes: Quelato EDDHA y sulfato de hierro con una dosis baja (10 mg Fe) y alta (40 mg Fe), obteniendo 4 tratamientos con un T0 (Testigo). Los resultados mostraron que el T2 (40 mg de Fe x L⁻¹) de EDDHA fue el mejor tratamiento, obteniendo diferencias significativas ($p < 0,0001$) respecto al T0 (Testigo), para las variables agronómicas: altura de planta, clorofila no destructiva, longitud de raíz y variables fisiológicas: clorofila a, clorofila b, clorofila total, contenido de hierro biodisponible, peso fresco, peso seco, materia seca de la planta y raíz, demostrando el efecto de la biofortificación con Fe en maíz dulce como una estrategia beneficiosa ya que permite la absorción directa de los micronutrientes además de elevar el valor nutricional del cultivo al aumentar la concentración de Fe .

Palabras clave: biofortificación, variables agronómicas, variables fisiológicas, maíz dulce, hierro biodisponible.

Abstract

Sweet corn is a hybrid variety that is grown to increase the amount of sugar, providing a large amount of calories, proteins, vitamins and minerals; the main uses are: sugar production, food for humans and animals, while iron (Fe) is an essential micronutrient for plants, it plays key roles: growth, respiration, nitrogen assimilation and chlorophyll biosynthesis. The present study was carried out with the objective of evaluating Fe biofortification in sweet corn *Zea mays* var. ADV9139, to establish the most appropriate source and dose. Germination was carried out in acclimatized trays in a pre-germination chamber according to greenhouse conditions, and once the plants reached a height of 15 cm, they were transplanted in the field. Foliar biofortification was carried out at the V7 vegetative stage, by applying two sources: EDDHA chelate and iron sulfate with a low (10 mg Fe) and high (40 mg Fe) dose, obtaining 4 treatments with a T0 (Control). The results showed that T2 (40 mg Fe x L⁻¹) of EDDHA was the best treatment, obtaining significant differences ($p < 0.0001$) with respect to T0 (Control), for the agronomic variables: plant height, non-destructive chlorophyll, root length and physiological variables: chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, bioavailable iron content, fresh weight, dry weight, plant and root dry matter, demonstrating the effect of biofortification with Fe in sweet corn as a beneficial strategy since it allows the direct absorption of micronutrients in addition to raising the nutritional value of the crop by increasing the concentration of Fe.

Keywords: biofortification, agronomic variables, physiological variables, sweet corn, bioavailable iron.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El maíz dulce corresponde a una variedad de híbrido que ha sido cultivada con el fin de incrementar el contenido de azúcar. Gracias a una serie de mutaciones de genes se ha desarrollado una mayor acumulación tanto de azúcares como polisacáridos. A nivel mundial, el maíz dulce juega un papel importante, tanto directa como indirectamente, en el suministro de calorías, proteínas y algunas de las vitaminas y minerales. Este cultivo tiene un propósito diferente, como alimento para humanos, forraje para animales, etanol o producción de azúcar en una industria, Tayebbeh *et al.*, (2020). A continuación, se detalla los antecedentes sobre el maíz dulce.

Este producto es originario de América, y fue acogido de manera inmediata por los europeos quienes lo transformaron en masa o en pan. Un alimento esencial que cuenta tanto con características como cualidades importantes, sobre todo por el sabor, Rodríguez *et al.*, (2018). Este cereal a nivel mundial cuenta con alrededor de 210 millones de hectáreas de cultivo, en Ecuador se da una producción anual mayor al millón de toneladas, siendo el 85% de maíz amarillo duro que se encamina para el desarrollo de balanceados.

Este cereal es uno de los más consumidos a nivel del mundo, seguido del trigo y el arroz. Se considera como un alimento clave para la preparación de múltiples comidas dentro de todo América, de igual manera, en el pasado fue considerado como un elemento importante a nivel religioso de las culturas de dicho continente, Rodríguez *et al.*, (2018).

El cultivo de maíz forrajero es muy importante en la alimentación pecuaria, especialmente en la ganadera, ya sea en forma de ensilaje, como grano seco, grano húmedo o triturado. Tiene excelentes características productivas y puede ser utilizado en diferentes regiones y zonas ecológicas, Peña (2020). Aunque cualquier variedad de maíz puede destinarse al cultivo para forraje, las variedades, híbridas, biofortificadas o de porte alto

producen más biomasa. El rendimiento mundial de maíz forrajero en el año 2018 fue de 44 t ha¹, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA,2019). En América el rendimiento de maíz forrajero se destaca en los países: Estados Unidos fue de 50-60 t ha⁻¹, en México de 40 t ha⁻¹ y; en Colombia de 32 t ha⁻¹. Por otra parte, en Ecuador, el rendimiento de maíz forrajero fue de 10 t ha⁻¹ aproximadamente, Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC,2019).

El maíz dulce al producir la mayoría de azúcares estructurales y solubles, tiene un potencial muy alto como materia prima alternativa para la producción de etanol; además, la producción de biocombustibles a partir de jarabe de tallo de maíz dulce muestra que además de aumentar el valor de las pérdidas agrícolas, esta planta puede desempeñar un papel temporal en los mercados emergentes de biocombustible, Instituto cubano de investigación desarrollo e innovación en las tecnologías (ICIDCA, 2019).

La biofortificación agronómica es un enfoque general para eliminar la deficiencia de micronutrientes en los cultivos alimentarios a través de prácticas agronómicas por medio de la aplicación foliar y del suelo, Shakoor *et al.*, (2019).

La biofortificación agronómica es la aplicación de un fertilizante mineral que contiene micronutrientes al suelo y/o las hojas de las plantas (foliares) para mejorar la calidad de los micronutrientes de la parte comestible de los cultivos. Aumenta temporalmente el estado nutricional del cultivo, satisfaciendo así el requerimiento nutricional dependiendo el uso destinado. También se denomina ferti-fortificación. Este método es beneficioso para el cultivo, ya que la planta absorber directamente micronutrientes, como el zinc y hierro, Jan *et al.*, (2020).

La eficacia de la biofortificación agronómica se calcula mediante una variedad de variables. El estado de los micronutrientes del suelo y su disponibilidad para la absorción de las plantas, los métodos de fertilización, la alteración del suelo, los sistemas de cultivo, etc. Son factores esenciales que afectan la producción de nutrientes del sistema. Además, la biodisponibilidad de los nutrientes en las diferentes etapas del crecimiento del cultivo, la

asignación de nutrientes y la re-translocación de nutrientes a las partes comestibles del cultivo también influyen en el estado nutricional del cultivo, García *et al.*, (2018).

Guillén *et al.*, (2016) realizaron una investigación sobre la biofortificación de frijol caupí con hierro y zinc. Se aplicaron dosis de 25, 50 y 100 μm^{-1} de hierro y zinc de. Se identificó que la adición de 50 μm^{-1} permitió un mayor rendimiento en el grano, mientras que, la mayor concentración de hierro se obtuvo con una concentración de 25 μm^{-1} . La mayor capacidad antioxidante se observó en la dosis de 100 micro moles de compuestos.

Por otra parte, se encuentra la investigación de Majumder *et al.*, (2019), quienes biofortificaron el arroz con hierro, zinc y vitamina A con el fin de combatir el hambre oculta. Se determinó un incremento significativo de hierro y zinc con otros minerales esenciales y provitamina-A (β -caroteno) en el grano de arroz. Por otra parte, Ciccolini *et al.*, (2017) donde la biofortificación aumentó la concentración de Zn (+78%) y su biodisponibilidad (+48%) en la harina de la variedad antigua, mientras que fue ineficaz para aumentar la concentración de Fe en ambas variedades. Sin embargo, la variedad antigua mostró mayor concentración (+41%) y biodisponibilidad (+26%) de Fe que la moderna.

Por último, en la investigación realizada por Preciado *et al.*, (2022), biofortificaron la lechuga con hierro. Se emplearon cinco tratamientos con una concentración de 0,10, 20, 30 y 35 μm^{-1} . En la cosecha se cuantificó la calidad nutracéutica y la acumulación de Fe en hojas, así como la productividad de la planta de lechuga. La biofortificación con Fe modificó positivamente la biosíntesis de compuestos fitoquímicos y su concentración en hojas de lechuga, sin afectar el rendimiento. La aspersion foliar de Fe es una alternativa para incrementar la biosíntesis de compuestos fitoquímicos e incrementar la concentración de este elemento en lechuga.

Justificación

La estacionalidad de la producción forrajera, consecuencia de las marcadas épocas invierno- verano y los cambios climáticos de las últimas décadas, obliga al productor lechero a

buscar alternativas en los cultivos forrajeros de corto plazo, el cultivo de maíz puede ser una de las opciones para completar este déficit alimenticio. Los sustitutos naturales de la escasez de forraje para la época seca son los cultivos forrajeros, porque proveen de suficiente materia como para no bajar la carga animal, Elizondo & Boschini (2002).

En términos prácticos los productores deben bajar la carga animal en 80% y en los mejores casos a la mitad, el resto de animales deber ser movidos a otros pastizales, esto no es muy ejecutable en el campo, entonces el tema de investigación es ofrecer al productor una alternativa ágil, y práctica para completar la alimentación faltante planificando la siembra de maíz como cultivo forrajero, Izquierdo (2012).

Por medio de la presente investigación se pretende incrementar la concentración de hierro en las hojas de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV 9139). La técnica que se utilizó fue la biofortificación, que corresponde a un área directa de la agronomía que se enfoca en el uso de fertilizantes con un nutriente específico para que se adicione en la planta.

La fortificación consiste en agregar nutrientes a los alimentos para mantener o mejorar la calidad de los mismos.

El maíz es un cultivo con interés principal para la biofortificación, al ser un cereal que es base de la alimentación de muchas personas, en especial a nivel de población rural, ya que las zonas rurales normalmente se encuentran personas de escasos recursos que tienen un ingreso menor al de las personas en zonas urbanas, donde es más evidente el déficit de micronutrientes como el hierro.

Por otra parte, la biofortificación es la alternativa más adecuada para el acceso de la población de bajos recursos a alimentos enriquecidos, resolviendo problemas de salud relacionados con el déficit del mineral, Maqbool & Beshir (2019). Los programas de biofortificación de cultivos, están direccionados a elementos químicos considerados esenciales como son: calcio, cobre, yodo, hierro, magnesio, selenio y zinc, ya que son en los cuales hay mayor índice de deficiencias en seres humanos.

Los beneficiarios directos de la presente investigación son los ganaderos, personas dedicadas a la crianza pecuaria y niños menores a cinco años de todo el Ecuador, quienes tendrán acceso a un sustituto natural para la alimentación animal y un nuevo alimento rico en nutrientes, sobre todo en hierro. Además, como beneficiarios indirectos se encuentran las instituciones del estado quienes tienen acceso a una nueva idea para la creación de un programa de nutrición a base de productos naturales.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la biofortificación con Fe aplicado en maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139)

Objetivos Específicos

- Establecer la dosis y fuente de fertilizante más adecuada para la biofortificación con Fe en maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).
- Evaluar las variables agronómicas y fisiológicas a nivel de campo de la biofortificación con Fe en maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).

Hipótesis

Hipótesis Nula

La estrategia de biofortificación agronómica no incide en la concentración de hierro en las hojas de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).

Hipótesis Alternativa

La estrategia de biofortificación agronómica incide en la concentración de hierro en las hojas de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Maíz Dulce

El maíz dulce corresponde al tercer vegetal con mayor abundancia que es consumido, después del tomate y la papa. Es una variedad de maíz que presenta grandes concentraciones de azúcar, además de presentar un alto valor nutricional, por lo que su demanda ha incrementado de manera considerable, Subaedah *et al.*, (2021).

El maíz dulce es uno de los cultivos de cereales con mayor importancia dentro de todo el mundo. La mayor parte de este tipo de maíz presenta un procesamiento en granos congelados, enlatados o cobettes. Se diferencia de los otros tipos de maíz, debido a que presenta una serie de genes que alteran la síntesis de almidón dentro del endospermo por lo que presenta un mejor sabor y textura, Lau *et al.*, (2019).

El maíz dulce se desarrolla de manera oportuna cuando los suelos tienen altos índices de drenación y cuentan con una adecuada conservación del agua. El pH óptimo de crecimiento oscila entre 5,8 y 6,6, Tayebbeh *et al.*, (2020). Es una planta gramínea por lo que presenta un tallo en forma de cilindro, hojas largas y gruesas donde la altura oscila entre uno y tres metros. Su mazorca es en forma de un cilindro con un diámetro que oscila entre 4 y 6 centímetros, un largo entre 15 y 30 centímetros y un peso de 200 gramos. Los granos son uniformes con una coloración amarilla y al romperse genera un líquido en forma de leche, Fridlay *et al.*, (2021).

Todo el maíz dulce tiene una o más mutaciones en los genes involucrados en la vía de biosíntesis del almidón que hacen que los granos acumulen azúcares en el endospermo en lugar del almidón acumulado en el maíz dentado de tipo salvaje. Por ejemplo, la mutación *sh2* homocigota da como resultado la pérdida de una subunidad de adenosina difosfatoglucosa pirofosforilasa y la acumulación de altos niveles de sacarosa. La mutación homocigota *su1* interrumpe una enzima desramificadora del almidón que conduce a niveles más altos de fitoglucógeno soluble en agua, junto con un aumento de sacarosa, pero a niveles

más bajos que *sh2*. Dependiendo de la mutación única, los efectos pleiotrópicos relacionados con la capacidad biosintética comprometida pueden ejercerse sobre otras enzimas de la ruta de biosíntesis del almidón, Baseggio *et al.*, (2019).

Taxonomía del Maíz Dulce

El maíz ha sido descrito botánicamente en el reino *Plantae*, orden *Poales*, familia *Poaceae*, subfamilia *Panicoideae*, género *Zea*, y especie *Zea Mays*, Fridlay *et al.*, (2021).

Tipos de Maíz Dulce

El maíz dulce presentó una diversidad de tipos de azúcar y por la coloración que presenta el grano, ya sea amarillo, blanco o bicolor, además de presentar una serie de genes, tal como se evidencia a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación del Maíz Dulce Clasificación

Tipo de maíz dulce	Gen	Tipo de grano	% de azúcar
Normal	Su	100% normal	5-10
Dulce mejorado	Su, se	25-100% dulce mejorado	7-20
Súper dulce	Sh	100% super dulce	20-40
Híbrido	Su, se, sh2	19-75% dulce mejorado	20-40
Shrunken incrementado	Se, sh2	100% super dulce y tierno	20-50
Mirai	Su, se, sh	100% super dulce y tierno	20-40

Nota. Tomado de Lindao & Loyola (2018). Su=Endosperma estándar, Se =Azúcar mejorado, Sh=Super dulce

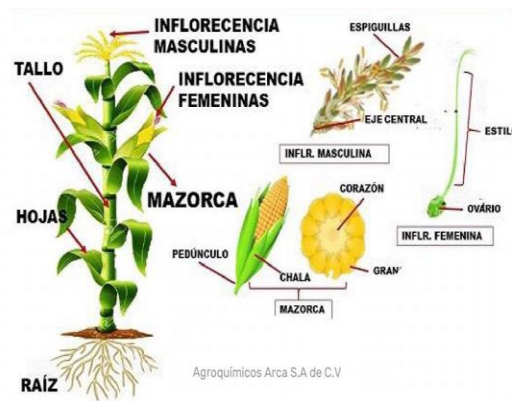
Como se observa en la tabla 2 existe una serie de genes que producen el azúcar dentro del maíz dulce. Su es un gen productor de fécula dominante, Se es un gen promotor de azúcar de carácter recesivo, sh2 es un gen productor de fécula dominante. Siendo el gen sh2 es de mayor importancia debido a que favorece al desarrollo de una mayor concentración de azúcar.

Morfología del Maíz dulce

El maíz dulce presenta la estructura de las gramíneas. La raíz presenta una serie de fascículos que llega a tener incluso raíces aéreas o adventicias para sujetar la planta al suelo. El tallo es una caña maciza que presenta una serie de nudos y entrenudos con una dimensión entre 1,5 y 3 m. Las hojas son largas con una dimensión entre 15-20 cm con lígulas cortas y ciliadas. Presenta dos tipos de inflorescencia: la masculina se ubica al final del tallo con varias espiguillas con dos flores, mientras que la femenina se conforma por flores agrupadas en forma de espiga y que se unen al tallo por medio de un pedúnculo. El fruto es una cariósipide desnuda de forma globosa (variedades autóctonas), cien granos pesan entre 100 y 300 g. Su color es blanco y viene determinado por el tipo de polen que le fecunda, Castillo (2020).

Figura 1

Morfología del Maíz Dulce



Nota. Tomado de García *et al.*, (2018)

Composición Nutricional del Maíz Dulce

La composición química que presenta el grano de maíz dulce se encuentra en cada una de sus estructuras anatómicas, es decir, pericarpio, endospermo y embrión. La composición nutricional se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2*Composición Nutricional del Maíz Dulce*

Componente	Concentración
Energía (kcal)	72
Lípidos	0,78
Carbohidratos (g)	19,5
Fe (mg)	0,68
Ca (mg)	4
Mg (mg)	32
Zn (mg)	0,7
K (mg)	294
P(mg)	87
Tiamina (mg)	0,103
Vitamina C (Mg)	7,2
Vitamina A (mg)	0,26

Nota. Tomado de Frindlay *et al.*, (2021)Producción de Maíz Dulce

El principal productor de maíz dulce del mundo es Estados Unidos cuyo consumo anual por persona es de 10,8 kilogramos que se distribuye de la siguiente manera: 3,9 kg como fresco, 4,3 kg como congelado y 2,6 kg como enlatado. En Europa se destacan como productores Francia y Hungría mientras que en Asia – Tailandia, Japón y Nueva Zelanda. Muchos países africanos también destacan en su producción como, Nigeria, Guinea, Costa de Marfil y Sudáfrica. Perú es el principal productor en Sudamérica, Parea (2017).

Dentro del Ecuador, el cultivo de maíz dulce se encuentra distribuido principalmente en la región costa, siendo la provincia de los Ríos la mayor productora de maíz dulce del Ecuador con 225 hectáreas cultivadas, no obstante, existe producción también en diferentes provincias de la sierra como Imbabura, Pichincha, Bolívar, Carchi y Chimborazo, El Universo (2018).

Importancia del Maíz Dulce

El maíz dulce presenta alta importancia a nivel económico, social y medicinal, por lo que presenta altos índices de energía debido a que por cada 110 gramos aporta 330 kilocalorías debido a sus grandes concentraciones de hidratos de carbono. Contiene altas concentraciones de vitaminas y minerales por lo que contribuye para el desarrollo de los tejidos, huesos y dientes. Contribuye en la prevención de enfermedades cardíacas y degenerativas. Previene la degeneración ocular ya que posee luteína y zeaxantina. Abarca potasio, favoreciendo el funcionamiento del sistema nervioso como muscular. Disminuye los niveles de colesterol, sustituto natural como forraje para el consumo de animales en épocas secas, Siyuan et al., (2018).

Plagas y Enfermedades del Maíz Dulce

Las plagas y enfermedades comunes que atacan al maíz dulce son los barrenadores del tallo del maíz, el virus de las estrías del maíz, la mancha gris de la hoja, los gusanos cortadores, los gusanos de alambre, los escarabajos pulga, los gusanos de la espiga del maíz y los barrenadores del maíz, Chisata *et al.*, (2018). A continuación, se detalla las principales plagas y enfermedades presentes en este cultivo:

Tabla 3

Plagas del Maíz Dulce

Plaga	Descripción
Cogollero (<i>Spodopterafrugiperda</i>)	Genera un daño en las etapas iniciales del cultivo.
Gusano de mazorca (<i>Heliothis sp</i>)	Ataca de manera directa a la mazorca.
Tierreros (<i>Agrotis sp.</i>)	Genera un daño en las etapas iniciales del cultivo
Afidos (<i>Rhopulosiphum maidis</i>)	Dañan a las hojas de la planta por lo que transmiten los virus.
Gorgojos (<i>Sitophilus zeamais</i>)	Afecta a los granos que se encuentran almacenados.

Nota: Adaptado de Masaquiza (2016)

Tabla 4*Enfermedades del Maíz Dulce*

Enfermedad	Descripción
Bacteriosis (<i>Xanthomonas stewartii</i>)	Se manifiesta por el color de las hojas amarillas pálidas
<i>Pseudomonas alboprecipitans</i>	Presenta una coloración en las hojas con tonos rojos, donde el tallo se pudre.
<i>Helminthosporium turcicum</i>	Afecta a las hojas más bajas de la planta, por medio de manchas que tienen una dimensión entre 3-15 mm, con un tono pardo.
Antracnosis (<i>Colletotrichum graminocolum</i>)	Genera manchas en la hoja de color rojo, arruga el limbo y la destruye.
Roya (<i>Puccinia sorghi</i>)	Presenta manchas de color marrón en las hojas.
Carbón del maíz (<i>Ustilago maydis</i>)	Genera agallas en las hojas de maíz, mazorcas y tallos.

Nota: Adaptado Sulong *et al*; (2019)

Híbrido ADVANTA 9139

El híbrido ADV 9139 como se lo abrevia, es un material de origen tailandés. El material es de la compañía ADVANTA y el distribuidor oficial será FARMAGRO S.A. El ADV 9139 tiene las siguientes características: Su uso puede ser en consumo en grano tierno, grano seco o como forrajero debido a su gran biomasa. La planta puede adaptarse a altitudes de los 0 m.s.n.m. hasta los 800 m.s.n.m. Días a la emergencia 4 a 6. Puede emitir la flor a los 58 días después de la siembra. Los días a la cosecha 120 días a los 140 días después de la siembra. La planta puede alcanzar hasta una altura de 232 cm. El índice de desgrane es del 80%, lo que indica que el 80% del peso de la mazorca corresponde solo a grano. Posee tolerancia al acame tanto de raíz como de tallo. Se recomienda una población por hectárea de 62.500 plantas. Cuenta con una excelente respuesta del Stay Green que corresponde a que el tallo o caña de la planta permanece verde o viva hasta el día de la cosecha. Gran producción de forraje obteniendo mayor biomasa por planta, ADVANTA (2018).

Hierro en las Plantas

El hierro es un elemento primordial para el crecimiento de las plantas que influye en una serie de procesos de las células tales como la respiración, biosíntesis de la clorofila, fotosíntesis e incluso es utilizado como un cofactor para las enzimas que se encargan de transferir electrones u oxígeno, Kobayashi *et al.*, (2019).

El hierro es un elemento químico que pertenece a los metales y que abundan en los suelos, por lo que es considerado como un micronutriente para todos los seres vivos. Generalmente se encuentra en forma ferrosa o férrica. Las funciones principales del hierro en las plantas es la biosíntesis de la clorofila, promueve la absorción del nitrógeno y contribuye en la fotosíntesis, Rodríguez I. (2018).

Absorción de Hierro por las plantas

Como se mencionó con anterioridad el hierro en el suelo se encuentra en forma ferrosa ($^{2+}$) y férrica ($^{3+}$), por lo que la absorción de este elemento sigue dos vías identificadas como Estrategia I y II respectivamente, Connorton *et al.*, (2017).

Estrategia I

Realizada principalmente por las monocotiledóneas no gramíneas y dicotiledóneas debido a que cuentan con la capacidad de disminuir el pH de la atmósfera. Al disminuir este parámetro se da la solubilización del Hierro (III) y por ende se genera la reducción a Hierro (II) antes del ingreso a la membrana celular, por medio de las proteínas reductoras, Connorton *et al.*, (2017).

Estrategia II

Se realiza por las gramíneas que cuentan con la capacidad de generar sideróforos que son aminoácidos no proteicos que permiten la solubilización del hierro (III), y generan un complejo Fe-sideróforo, que pueden ingresar por medio de la membrana celular, Connorton *et al.*, (2017).

Biodisponibilidad del Hierro

La biodisponibilidad hace referencia a la eficiencia por medio de la cual el hierro que es obtenido por medio de la dieta, se utiliza de manera biológica. En este sentido es muy importante que se tome en consideración el tipo de hierro absorbido, la cantidad, y su combinación con los alimentos. De esta manera, la biodisponibilidad que oscila entre 1-20% depende del alimento y los componentes gástricos, Paredes (2019).

Fuentes de Hierro

Quelato de hierro EDDHA

Los quelatos son compuestos en los que los nutrientes metálicos se unen a agentes quelantes orgánicos. Los iones metálicos existen en solución en una forma altamente hidratada, rodeados de moléculas de agua. Al sustituir las moléculas de agua con agentes quelantes, se forman complejos con iones metálicos, también son conocidos como secuestrantes de metales pesados. Los quelatos evitan la toxicidad de los metales pesados y protegen a los iones metálicos para evitar que se precipitan en forma de hidróxidos insolubles y sean inaccesibles para las plantas. El quelato de hierro EDDHA (ácido etilendiamino-di-(o-hidroxifenil-acético) proporciona una apariencia especial de un polvo cristalino de grano fino marrón rojizo oscuro del hierro sujeto. El portador sujeto es EDDHA (etilendiamina dihidroxibenceno). Ácido glicólico). La abrazadera de hierro sujeta por este portador contiene la estructura del isómero Ortho-Ortho, su contenido de hierro es del 4,8 a 6 %, INTIAGRI (2021).

Sulfato de hierro

El sulfato de hierro es un compuesto químico de fórmula química $FeSO_4$. Es conocido también con el nombre de vitriolo verde, vitriolo de hierro, caparrosa verde, sulfato ferroso o férrico. Tiene color verde-marrón y se presenta en diferentes formas de hidratación. Es utilizado en agricultura para dar aporte de hierro a las plantas, en ocasiones las plantas presentan déficit de micronutrientes y puede ser debido a un alto pH del suelo, una alta alcalinidad, que convierte los nutrientes en insolubles, reteniéndolos y no estando por tanto disponibles para las

plantas. El sulfato férrico es una sal con la que se va a poder bajar el pH del suelo, liberando así micronutrientes y dando un aporte de hierro, ALQUERA (2018).

Biofortificación

La biofortificación agronómica es la aplicación de un fertilizante mineral que contiene micronutrientes al suelo y/o las hojas de las plantas (foliares) para mejorar la calidad de los micronutrientes de la parte comestible de los cultivos alimentarios. Aumenta temporalmente el estado nutricional del cultivo, satisfaciendo así el requerimiento nutricional humano. También se denomina ferti-fortificación. Este método es beneficioso para el cultivo de micronutrientes que la planta puede absorber directamente, como el zinc y hierro, pero no para los micronutrientes que se sintetizan en la planta y no pueden ser absorbidos directamente por la planta, Jan *et al.*, (2020).

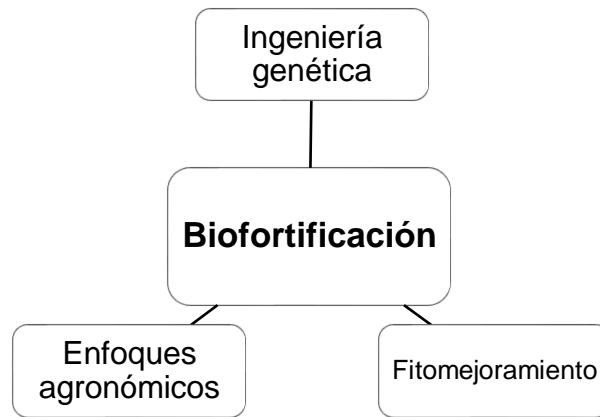
La eficacia de la biofortificación agronómica se calcula mediante una variedad de variables. El estado de los micronutrientes del suelo y su disponibilidad para la absorción de las plantas, los métodos de fertilización, la alteración del suelo, los sistemas de cultivo, etc. son factores esenciales que afectan la producción de nutrientes del sistema. Además, la biodisponibilidad de los nutrientes en las diferentes etapas del crecimiento del cultivo, la asignación de nutrientes y la retranslocación de nutrientes a las partes comestibles del cultivo también influyen en el estado nutricional del cultivo, García *et al.*; (2018).

La biofortificación corresponde a un proceso que incrementa tanto vitaminas como minerales dentro de un cultivo por medio de 3 técnicas: fitomejoramiento, técnicas transgénicas o prácticas agronómicas. Cuando estos cultivos son consumidos de manera permanente se generan una serie de beneficios muy importantes tanto en la salud como en la nutrición humana, Bouis & Saltzman (2017).

De esta manera, por medio de la biofortificación corresponde a un proceso que mejora el perfil nutricional de ciertos alimentos de origen vegetal por medio de las siguientes intervenciones:

Figura 2

Formas de Biofortificación



Nota: Adaptado de Jha & Warkentin (2020)

La biofortificación por medio de enfoques agronómicos se genera por medio de la aplicación de una serie de fertilizantes minerales, fertilización foliar e inoculación del suelo con microorganismos que son beneficiosos para las plantas.

Fertilización Foliar

La fertilización foliar es la aplicación de fertilizantes directamente a las hojas. Podría tener éxito cuando los elementos minerales no están disponibles de inmediato en el suelo o no se trasladan fácilmente a los tejidos comestibles. Los cultivos de leguminosas se biofortificaron con micronutrientes, Fe, Zn y Se, a través de la aplicación foliar en varios estudios que resultaron en un aumento de los niveles de estos micronutrientes en el grano cosechado, Jha & Warkentin (2020).

Las plantas son capaces de absorber elementos esenciales a través de sus hojas. La absorción se produce a través de sus estomas y también a través de su epidermis. Es la aplicación de fertilizantes al follaje del cultivo como solución de aspersión se le conoce como aspersión foliar. Este método es adecuado para la aplicación de pequeñas cantidades de fertilizantes, especialmente micronutrientes. Los principales nutrientes también se pueden

aplicar con este método cuando no hay una humedad adecuada en la capa superior del suelo. La aplicación foliar no es un sustituto de la aplicación al suelo, sino solo un complemento, Jha & Warkentin (2020).

En la actualidad, la alimentación foliar ha sido ampliamente utilizada y aceptada como parte esencial de la producción de cultivos, especialmente en cultivos hortícolas. Los beneficios de la alimentación foliar han sido bien documentados y se han realizado esfuerzos cada vez mayores para lograr respuestas consistentes. Los mecanismos de fertilización foliar: primero deben ingresar a la hoja, penetrando la cutícula externa y la pared celular epidérmica subyacente. La absorción de nutrientes por la célula es similar a la absorción por las raíces. La cutícula ofrece mayor resistencia de todos los componentes de la vía de los nutrientes para que luego estos ingresen al citoplasma de una célula en las hojas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del área de estudio

El estudio se realizó en el invernadero de horticultura dentro del campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria (IASA 1) perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicado en la hacienda “El Prado”, parroquia San Fernando, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Geográficamente se localiza a 0°23'20" S, 78°24'44" O y a una altitud de 2748 m.s.n.m, Arce (2009). La temperatura es 22,07°C, humedad relativa 41.18%, radiación UV 9.76umol y luz PAR 591.67 umol.m⁻²s⁻¹ dentro del invernadero, Villareal (2018).

Figura 3

Invernadero de horticultura-IASA 1



Nota: Adaptado de Google Maps (2020)

Análisis de suelo previo a instalación del ensayo

Se recolectaron 6 muestras de suelo, luego se mezclaron y se tomó 1 kg de suelo homogenizado para analizarlas en laboratorio.

Tabla 5

Análisis de suelo previo a instalación del ensayo

Parámetro analizado	Unidad	Resultado	Interpretación- INIAP
pH	---	7,53	Ligeramente alcalino
Materia orgánica	%	3,31	Alto
Nitrógeno	ppm	142	Alto
Fósforo	ppm	248,9	Alto
Potasio	meq/ 100g	0,36	Medio
Calcio	meq/ 100g	18,22	Alto
Magnesio	meq/ 100g	4.03	Alto
Hierro	ppm	353	Alto
Manganeso	ppm	9,6	Medio
Cobre	ppm	9	Alto
Zinc	ppm	6,7	Medio
Boro	ppm	0,44	Bajo

Nota: Autoría propia

Preparación del terreno

La preparación del suelo y la deshierba fueron manuales. El área experimental fue delimitada y se levantaron dos camas de 0.8m de ancho, 16m de largo, 0,15m de altura y 0.4m de camino entre camas. Las camas se airearon y nivelaron con azadón y rastrillo.

Siembra

Las semillas de maíz variedad ADV9139 fueron sembradas en 2 bandejas de germinación de 200 alvéolos, que fueron llenados con un sustrato compuesto por 70% turba (Klasmann TS3), 20% humus y 10% pomina. Las bandejas de germinación permanecieron en una cámara de pregerminado, constituida por estanterías de 3m de largo por 1m de ancho, plástico y construida debajo de una polisombra del 50% (Figura 10). Las condiciones ambientales fueron: HR (humedad relativa) del 96% y una temperatura promedio de 26°C. Esta fase duró 12 días y posterior a este tiempo las plantas se les quitó gradualmente el

plástico hasta aclimatarlas a condiciones ambientales del invernadero. Una vez que las plantas alcanzaron los 15cm fueron trasplantadas en el campo.

Figura 4

Cámara de pregerminado



Nota: Autoría propia

Tabla 6

Especificaciones de la siembra

Descripción	Valor
Longitud de la hilera	16m
Distancia entre hileras	0,30m
Distancia entre sitios	0,20m
Sitios por hilera	80
Plantas por sitio	1
Hileras por cama	2
Superficie útil por cama	11,2m
Densidad del ensayo	320 plantas de maíz

Nota: Autoría propia

Figura 5

Trasplante de plántulas de maíz



Nota: Autoría propia

Control químico de insectos y plagas

Al momento del trasplante y 45 días después del trasplante se realizaron aspersiones con CLORPILAQ® 48 (Chlorpyrifos) en dosis de 2ml X L⁻¹, para el control del gusano trozador (*Agrotis ipsilon*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Control de Malezas

El control postemergente de malezas se realizó una vez cada semana de forma manual con ayuda de un azadón y rastrillo

Figura 6

Control de malezas postemergente



Nota: Autoría propia

Riego

Cada cama contó con dos cintas de riego ubicadas a los laterales de cada hilera. La frecuencia de riego fue durante 2 h día⁻¹ por 3 días a la semana. Se fueron modificando los turnos de riego en tiempo y días cuando se presentaba mayor incidencia de sol, lo que provocaba una mayor tasa de evapotranspiración y necesidad de agua por parte del cultivo.

Diseño Experimental

Factores Evaluados

Los factores que se evaluaron fueron 2 tipos de fuentes de hierro (Quelato-Sulfato) y 2 dosis (alta y baja)

Tratamientos Evaluados

Como indica la tabla 6, el estudio contó con 5 tratamientos con dos fuentes de fertilizantes con hierro, se utilizaron dos dosis: bajas y altas respectivamente aplicadas de manera foliar con su testigo.

Tabla 7

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo
T1	Aplicación foliar (10mg de Fe x L ⁻¹ Quelato de Fe EDDHA)
T2	Aplicación foliar (40mg de Fe x L ⁻¹ Quelato de Fe EDDHA)
T4	Aplicación foliar (10mg de Fe x L ⁻¹ Sulfato de Fe)
T5	Aplicación foliar (40mg de Fe x L ⁻¹ Sulfato de Fe)

Nota: Autoría propia

Tipo de diseño

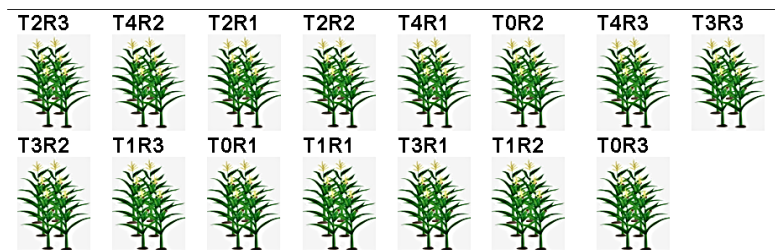
El experimento se dispuso mediante un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones

Características de las unidades experimentales

La primera cama fue dividida en 8 partes y la segunda cama en 7 partes dan un total de 15 unidades experimentales, cada unidad compuesta de 10 plantas de maíz cada una.

Figura 7

Croquis de las unidades experimentales



Nota: Autoría propia

Variables

Esta investigación se desarrolló durante los meses de septiembre 2022 a febrero de 2023, periodo en el cual se evaluó las variables agronómicas y fisiológicas de las plantas de maíz dulce, además del contenido de hierro biodisponible en las hojas del maíz.

Análisis Estadístico

Las variables de estudio inicialmente se caracterizaron mediante la valoración de normalidad, homocedasticidad y un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos de biofortificación con Fe (hierro) sobre los parámetros agronómicos y fisiológicos. Posteriormente para encontrar o no diferencias significativas se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de confianza del 95%.

. El modelo matemático que se siguió fue el siguiente:

$$. Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Acumulación de Fe biodisponible en las hojas de maíz dulce.

μ : Media poblacional

T_i : Efecto del i -ésimo tratamiento de Fe (hierro) en la biofortificación.

E_{ij} : Error experimental.

Variables Agronómicas Medidas

Biofortificación Foliar

La biofortificación foliar se realizó en la etapa V7 del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139.). Se aplicó mediante aspersion en hojas y tallos de la planta con la ayuda de una bomba. Se utilizó un plástico grande como barrera para evitar el cruce de la aspersion. Se aplicó cada tratamiento de acuerdo (Tabla 6) y (Figura 9)

Medición de la Altura

Se seleccionaron 5 plantas elegidas completamente al azar de cada unidad experimental, de las cuales se midió la altura desde la base de la planta hasta la hoja bandera,

los datos se tomaron después de una semana de aplicar los tratamientos cada 8 días hasta antes de la inflorescencia masculina.

Figura 8

Hoja Bandera



Nota: Tomado de INTAGRI (2017)

Medición del Diámetro del tallo

De las 5 plantas seleccionadas de cada unidad experimental se midió el diámetro en la parte media del tallo, los datos se tomaron después de una semana de aplicar los tratamientos cada 8 días hasta antes de la inflorescencia masculina.

Figura 9

Medición del diámetro de las plantas



Nota: Autoría propia

Medición de clorofila en campo

De las 5 plantas seleccionadas con la ayuda de una etiqueta, se eligió una parte de la lámina de la hoja de cada planta, para medir la clorofila con la ayuda del medidor HansatechCL-01, los datos se tomaron después de una semana de aplicar los tratamientos cada 8 días hasta antes de la inflorescencia masculina.

Figura 10

Medición de clorofila mediante el medidor Hansatech CL-01



Nota: Autoría propia

Longitud de raíces

Para la longitud de raíces, primero éstas fueron removidas del suelo, lavándolas con una regadera para evitar su ruptura, luego se midieron con un flexómetro tanto la raíz principal, así como las adventicias obteniendo un promedio, esta variable fue tomada cuando apareció la inflorescencia masculina.

Figura 11

Medición de la longitud de las raíces



Nota: Autoría propia

Concentración del Hierro Biodisponible (Fe²⁺)

Para la medición de la concentración del hierro biodisponible se pesó 2 gramos de hojas frescas de cada tratamiento, se cortaron en finas partes y la muestra se colocó en un tubo de ensayo con 7ml al 1,5% (p/p) de 1-10 Fenantrolina (en H₂O, ajustado a pH3 con 1M de HCl). Después de 16 horas las muestras se centrifugaron y la concentración de Fe²⁺ fue determinada espectrofotométricamente a 510nm, Díaz (2009).

Los valores de ppm de Fe²⁺ se obtiene con la siguiente ecuación:

$$x = \frac{y + 0,0347}{0,0424}$$

Donde:

X: Los valores de mg/L⁻¹ de Fe²⁺ (Hierro biodisponible).

Y: Los valores de absorbancia determinados espectrofotométricamente a 510nm.

Figura 12

Medición del hierro biodisponible en las hojas de maíz



Nota: Autoría propia

Concentración de clorofila de las hojas de maíz dulce

Para la medición de clorofila se tomaron hojas frescas de maíz, se pesó 0,25 gramos de muestra de tejido vegetal, luego se colocaron las muestras en un mortero con 3 ml de etanol al 95% para moler por completo. Se colocaron las muestras en tubos de ensayo y se aforó a 6.25ml con etanol al 95%, sacadas las muestras se centrifugaron los tubos durante 15 minutos. De la solución centrifugada se tomó 3ml de la muestra para leer su absorbancia a 649 y 664nm en el espectrofotómetro, Sumanta *et al.*, (2014).

Tabla 8

Ecuaciones para la obtención de la clorofila en laboratorio medidas en ug ml -1

Clorofila	Ecuaciones
Clorofila a	$Ch-a=13,36 * a^{664}-5,19 * a^{649}$
Clorofila b	$Ch-b=27,43 * a^{649}-8,12 * a^{664}$
Clorofila Total	$Ch-t= Ch-a+Ch-b$

*Nota: Tomado de Sumanta et al., (2014).
Ch-a=Clorofila a, Ch-b=Clorofila b, Ch-t=Clorofila total, a=Absorbancia*

Figura 13

Medición de la concentración de clorofila en las hojas de maíz



Nota: Autoría propia

Determinación de la materia seca de la parte aérea planta y raíz

Se tomaron y pesaron las muestras de la parte aérea de la planta y raíz. Se picaron las muestras y se colocaron en fundas de papel rotuladas de cada tratamiento. Se colocaron las fundas de papel en la estufa a 100°C durante 24 horas. Una vez secas las muestras se determinó la materia seca, Petruzzi et al., (2005).

Fórmula para determinar la materia seca:

$$Materia\ seca = \frac{Peso\ seco}{Peso\ fresco} * 100$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura total

En la variable altura total, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}= 133,76$; $p<0,0001$) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó una altura de 217,80cm, siendo el mejor tratamiento para esta variable.

Tabla 9

Medias ± error estándar para la altura total

Tratamiento	Altura (cm)
T0 (Testigo)	190,03 ± 0,87 a
T1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	205,60 ± 0,87 c
T2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	217,80 ± 0,87 d
T3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	200,23 ± 0,87 b
T4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	207,80 ± 0,87 c

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey

Diámetro total

En la variable diámetro total, a través del análisis de la varianza y la prueba de comparación de medias, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{4,10}=0,93$; $p=0,4832$) para esta variable (Tabla 9).

Tabla 10

Medias ± error

estándar para

Tratamiento	Diámetro (cm)
0 (Testigo)	8,40 ± 0,24
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	8,87 ± 0,24
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	9,00 ± 0,24
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	8,60 ± 0,24
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	8,80 ± 0,24

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey

Clorofila

En la variable clorofila tomada con el medidor Hansatech CL-01, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=423,98$; $p<0,0001$) entre el T0(Testigo) y los demás tratamientos. El T2(40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 24,99%, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 10).

En la variable clorofila a, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=754,76$; $p<0,0001$) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos. El T2(40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 26,44ug/ml⁻¹, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 10).

En la variable clorofila b, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=724,22$; $p<0,0001$) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos. El T2(40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 20,29ug/ml⁻¹, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 10).

En la variable clorofila Total, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}= 1832,66$; $p<0,0001$) entre el T0(Testigo) y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 46,73ug/ml⁻¹ de clorofila, siendo el mejor tratamiento para esta variable

Tabla 11

Tratamiento	Hansatech	Espectrofotómetro		
	CL01 Clorofila (%)	(Ch-a) (ug/ml ⁻¹)	(Ch-b) (ug/ml ⁻¹)	(Ch-T) (ug/ml ⁻¹)
0 (Testigo)	14,35 ± 0,20 a	19,26 ± 0,10 a	8,42 ± 0,16 a	27,68 ± 0,16 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	19,54 ± 0,20 c	24,38 ± 0,10 c	13,41 ± 0,16 c	37,79 ± 0,16 c
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	24,99 ± 0,20 d	26,44 ± 0,10 d	20,29 ± 0,16 d	46,73 ± 0,16 e
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	15,89 ± 0,20 b	22,64 ± 0,10 b	12,22 ± 0,16 b	34,86 ± 0,16 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	20,22 ± 0,20 c	24,52 ± 0,10 c	14,14 ± 0,16 c	38,66 ± 0,16 d

Medias ± error estándar para la clorofila (%), clorofila a, clorofila b y clorofila T

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey. Clorofila a =(Ch-a), clorofila b =(Ch-b) Y clorofila Total =(Ch-T)

Hierro biodisponible

En la variable hierro biodisponible, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=288,16$; $p<0,0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 5,94mg/L⁻¹ de hierro disponible, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 11).

Tabla 12

Medias \pm error estándar del hierro biodisponible

Tratamiento	Hierro biodisponible(mg/L ⁻¹)
0 (Testigo)	4,21 \pm 0,04 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	5,39 \pm 0,04 c
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	5,94 \pm 0,04 d
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	5,11 \pm 0,04 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	5,50 \pm 0,04 c

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey

Peso fresco de planta y raíz

En la variable peso fresco de la planta, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=113834,60$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 1134,93g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 12).

En la variable peso fresco de la raíz, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=455,87$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 51,20g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 12).

En la variable peso fresco total, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=52446,01$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 1186.13g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 1)

Tabla 13*Medias \pm error estándar de peso fresco (PF) de la planta y raíz*

Tratamiento	PF planta (g)	PF raíz (g)	PF total (g)
0 (Testigo)	756,83 \pm 0,41 a	36,87 \pm 0,27 a	793,68 \pm 0,63 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	921,77 \pm 0,41 c	48,50 \pm 0,27 c	970,27 \pm 0,63 c
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	1134,93 \pm 0,41 e	51,20 \pm 0,27 d	1186,13 \pm 0,63 e
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	906,97 \pm 0,41 b	47,20 \pm 0,27 b	954,17 \pm 0,63 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	1006,97 \pm 0,41 d	49,53 \pm 0,27c	1056,50 \pm 0,63 d

*Nota: Autoría propia***Peso seco de planta y raíz**

En la variable peso seco de la planta, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=8652,76$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 206,13g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 13).

En la variable peso seco de la raíz, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=193,96$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 11,30g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 13).

En la variable peso seco total, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}=7346,17$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó de 217,43g, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 13).

Tabla 14*Medias \pm error estándar de peso fresco (PS) de la planta y raíz*

Tratamiento	PS planta (g)	PS raíz (g)	PS total (g)
0 (Testigo)	89,93 \pm 0,48 a	5,30 \pm 0,16 a	95,23 \pm 0,54 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	135,43 \pm 0,48 c	8,30 \pm 0,16 b	143,73 \pm 0,54 c
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	206,13 \pm 0,48 e	11,30 \pm 0,16 d	217,43 \pm 0,54 e
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	111,43 \pm 0,48 b	7,70 \pm 0,16 b	119,13 \pm 0,54 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	150,63 \pm 0,48 d	9,22 \pm 0,16 c	159,85 \pm 0,54 d

Nota: Autoría propia

Porcentaje de materia seca

En la variable del porcentaje de materia seca de la planta, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10} = 3009,98$; $p < 0.0001$) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 18,16%, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 14).

En la variable del porcentaje de materia seca de la raíz, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10} = 125,71$; $p < 0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 22,06%, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 14).

En la variable del porcentaje de materia seca total, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10} = 382,55$; $p < 0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 40,22%, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 14).

Tabla 15

Medias \pm error estándar de materia seca (MS) de la planta y raíz

Tratamiento	MS planta (%)	MS raíz (%)	MS Total (%)
0 (Testigo)	11,88 \pm 0.05 a	14,38 \pm 0.26 a	26,26 \pm 0,27 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	14.69 \pm 0.05 c	17.11 \pm 0.26 b	31,80 \pm 0,27 c
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	18.16 \pm 0.05 e	22.06 \pm 0.26 d	40,22 \pm 0,27 e
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	12.29 \pm 0.05 b	16.31 \pm 0.26 b	28,60 \pm 0,27 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	14.96 \pm 0.05 d	18.61 \pm 0.26 c	33,51 \pm 0,27 d

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey

Longitud de raíz.

En la variable longitud de la raíz, se encontraron diferencias significativas ($F_{4,10}= 69,60$; $p<0.0001$) entre el T0 y los demás tratamientos. El T2 (40mg Fe x L⁻¹ de quelato EDDHA) presentó 30cm de longitud, siendo el mejor tratamiento para esta variable (Tabla 15).

Tabla 16

Medias ± error estándar de longitud de raíz (cm)

Tratamiento	Longitud raíz (cm)
0 (Testigo)	17.0 ± 0.58 a
1 (10mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	22.0 ± 0.58 b
2 (40mg Fe x L ⁻¹ de EDDHA)	30.0 ± 0.58 c
3 (10mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	20.0 ± 0.58 b
4 (40mg Fe x L ⁻¹ de FeSO ₄)	22.0 ± 0.58 b

Nota: Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por test de Tukey

Discusión

El hierro (Fe) es un micronutriente esencial para las plantas, ya que desempeña funciones claves como su crecimiento, respiración e incluso es utilizado como un cofactor para las enzimas que se encargan de transferir electrones u oxígeno, Kobayashi *et al.*, (2019). Debido a que la mayor parte del hierro en el suelo se encuentra formas que no están disponibles para las plantas, abordar este problema exige el empleo de estrategias de biofortificación. Jan *et al.*, (2020) menciona, que la biofortificación agronómica la cual se aplica un fertilizante mineral que contiene micronutrientes es una estrategia beneficiosa para el cultivo, ya que la planta puede absorber directamente los micronutrientes, para evaluar la eficacia de la biofortificación de maíz dulce, se debe evaluar diferentes variables, estas pueden ser agronómicas como fisiológicas. En este estudio se pudo evidenciar la absorción del hierro,

debido a que la aplicación del T2(40 mg Fe x L⁻¹ de EDDHA) presentó la mayor concentración de hierro biodisponible 5,94mg/L⁻¹ en comparación al T0(Testigo) 4,21mg L⁻¹.

En el estudio realizado por Blair *et al.*, (2007), en las localidades de Cauca y Nariño en Colombia se evaluó el maíz híbrido QPM CML491, mejorado genéticamente para absorber Fe y aplicaciones foliares (40-100mg de Fe), obteniendo una biodisponibilidad de 15 a 20mg L⁻¹, mientras que en el presente estudio con la aplicación de la dosis alta correspondiente al T2 (40 mg Fe x L⁻¹ de EDDHA) se obtuvo 5,94mgL⁻¹, por lo tanto, se evidencia un incremento de los valores de Fe biodisponible en los estudios.

Preciado, *et al.*, (2022), evaluó la biofortificación de lechuga, mediante la aplicación foliar de 40mg Fe x L⁻¹ de FeSO₄, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), obteniendo 816.53g de peso fresco. En este estudio con la aplicación del T4(40 mg Fe x L⁻¹ de FeSO₄) se obtuvo 1006,97g de peso fresco en el maíz, indicando que la biofortificación con FeSO₄, incrementa el peso fresco en las plantas de diferentes cultivos.

Los estudios demuestran que realizando la estrategia de biofortificación obtenemos mayor biodisponibilidad de los nutrientes, dando lugar a la asignación y retranslocación de nutrientes y eso conlleva también que influyan en el estado nutricional del cultivo, García *et al.*, (2018).

Con la aplicación de T2 (40 mg Fe x L⁻¹ de EDDHA) en este estudio, se obtuvieron los mejores resultados en las variables evaluadas, comparado con las dosis de FeSO₄, debido a que los quelatos EDDHA evitan la toxicidad de los metales pesados y protegen a los iones metálicos para que no se precipiten en forma de hidróxidos insolubles y sean inaccesibles para las plantas, INTIAGRI (2021).

Rodríguez I. (2018) menciona que el hierro promueve la absorción del nitrógeno, esto se pudo corroborar en este estudio con la aplicación del T2(40 mg Fe x L⁻¹ de EDDHA), presentó la mayor altura 207,80cm siendo el mejor tratamiento en comparación la T0 (Testigo) que presentaron 190,03.

Kobayashi *et al.*, (2019) menciona que el hierro interviene en la biosíntesis de la clorofila, mantiene la estructura de los cloroplastos, la actividad enzimática y contribuye en la fotosíntesis, Por lo tanto, en este estudio se evidencia que la relación entre la clorofila y la concentración de hierro es directamente proporcional obteniendo una clorofila total de 46,74ug ml⁻¹ con una concentración de hierro biodisponible de 5,94mg L⁻¹ con la aplicación del T2 (40 mg Fe x L⁻¹ de EDDHA).

El maíz forrajero se aprovecha como alimento de animales en diferentes formas como: rastrojo, grano y ensilaje, en varias etapas del crecimiento de la planta, principalmente cuando aparece la panoja, antes de la inflorescencia masculina. En el presente estudio se evaluó la biofortificación de maíz dulce var. ADV9139, que es ideal para la producción de grano y forraje, por su gran biomasa, rendimiento, además cuenta con una excelente respuesta del Stay Green (tallo o caña de la planta permanece verde hasta el día de la cosecha), BIOSEM (2015). Por esta razón esta variedad puede aprovecharse con dos fines.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se identificó que el Tratamiento 2 mediante la aplicación foliar de 40 mg de Fe x L⁻¹ de Quelato de Fe EDDHA es la mejor fuente y dosis de fertilización para la biofortificación con Fe de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139), el cual generó un efecto positivo en todas las variables tanto agronómicas como fisiológicas medidas en esta investigación.
- Las variables agronómicas a nivel de campo mediante la aplicación foliar del Tratamiento 2 fueron: altura 217.80cm; diámetro 9.00cm; porcentaje de clorofila en las hojas tomado con el Medidor Hansatech CL-01 fue de 24.99% y la longitud de la raíz 30.0cm.
- Las variables fisiológicas a nivel de laboratorio mediante la aplicación del Tratamiento 2 fueron: clorofila a 26,44ug/ml⁻¹; la clorofila b 20,29ug/ml⁻¹ y la clorofila Total de 46,74ug/ml⁻¹; hierro biodisponible en las hojas 5,94mg/L⁻¹ ; cantidad de peso fresco de la planta 1134.93g, peso fresco de la raíz 51,20g, peso total fresco 1186,13g; peso seco de la planta 206.13g, peso seco de la raíz 11,30 g, peso total seco 217,43 ; materia seca de la planta 18,16%; materia seca de la raíz 22,06% y materia seca total 40,22%

Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación foliar de 40 mg de Fe x L⁻¹ de Quelato de Fe EDDHA para la biofortificación con Fe de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).
- Se recomienda seguir la investigación hasta la etapa de cosecha y analizar el grano de maíz para verificar la eficacia de la biofortificación.

- Se recomienda seleccionar otras variedades de maíz con potencial de mejoramiento y/o genético, para ver si funcionan las mismas dosis y fuentes de fertilización para la biofortificación de maíz.
- Se recomienda el estudio del consumo de forraje proveniente de hojas biofortificadas de maíz para analizar si influye en cambios fisiológicos al ser consumidas por animales herbívoros o de especies menores.

BIBLIOGRAFÍA

- ADVANTA. (2018). *Semilla de maíz ADV 9139*. Farmagro: <https://www.farmagro.com/detalle-producto/adv9139-171>
- ALQUERA. (2018). *Usos Sulfato de Hierro*. https://www.alquera.com/?attachment_id=949
- Arce, M. (2009). Elaboración y análisis del diagrama ombrotérmico de la hacienda El Prado IASA, 1998-2008. *Revista internacional Serie Zoológica*, 1(1), 1390-3004. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/issue/view/Bolet%C3%ADn%20T%C3%A9cnico%208%2C%20Serie%20Zool%C3%B3gica%204%20-%205>
- Baseggio, M., Murray, M., Magallanes, M., & Kaczmar, N. (2019). El Genoma Vegetal. *Asociación de todo el genoma y modelos de predicción genómica de tococromanoles en granos de maíz dulce frescos*, 12(1), 160-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.3835/plantgenome2018.06.0038>
- BIOSEM. (2015). *Maíz ADV 9139*. Biosemillas Perú: <https://docs.google.com/document/d/1YHYJvwB6tvI7fsuKgesdua0LIMKbbSrN/edit#>
- Blair, M., Astudillo, C., Beebe, S., & Ávila, T. (2007). *Maíz y frijol biofortificados con micronutrientes*. https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/0305_INFOTEC_Final.pdf
- Bouis, H., & Saltzman, A. (2017). Mejorar la nutrición a través de la biofortificación: una revisión de la evidencia de HarvestPlus, 2003 a 2016. *ELSEVIER*, 12(1), 49-58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
- Castillo, B. (2020). *Caracterización agro-morfológica de la línea promisoría UTC 003 de maíz chulpi en el barrio Tigualo*. [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7024/1/PC-000995.pdf>
- Chisata, B., Hanardih, K., & Alubi, T. (2018). Characterization of Selected Maize Varieties for All-Year-Round Sweet Corn Production in Malawi. *Food Science and Quality*

- Management*, 76(1), 77-84.
<https://doi.org/https://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/43000>
- Ciccolini, V., Pellegrino, E., Coccina, A., Fiaschi, A., Cerrenti, D., Sgherri, C., & Ercoli, L. (2017). Biofortificación con hierro y zinc mejora propiedades nutricionales y nutracéuticas de harina y pan de trigo común. *Agricultural and Food Chemistry*, 65(27), 5443–5452.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01176>
- Connorton, J., Balk, J., & Rodríguez, J. (2017). Homeostasis del hierro en las plantas: una breve descripción. *Metallomics*, 9(7), 813-823.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/c7mt00136c>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos . (USDA,2019). *Producción mundial de maíz*. <https://www.usda.gov/topics/food-and-nutrition>
- Díaz, F. (2009). *Evaluación de tres fuentes de hierro para la biofortificación foliar en Rye Grass Perenne(Lolium perenne)variedad Amazon*. [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15927/1/T-IASA%20I-005487.pdf>
- El Universo. (2018). La Península ‘debuta’ con producción de maíz dulce. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/2008/09/21/0001/9/DE2474FF07034B2E980707F3A24199D2.html/>
- Elizondo, J., & Boschini, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 13-17. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43713103.pdf>
- Estadísticas Agropecuarias . (ESPAC,2019). *Producción ganadera y forrajera del Ecuador*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Fridlay, M., Fraga, D., Guerrero, S., Ortiz, D., & Realpe, S. (2021). Maíz, el grano de oro. *CEI*, 8(3), 144-149.
<https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2875/3157>

- García, M., Peña, J., De Regil, L., Gwirt, J., & Pasricha, S. (2018). Fortificación de la harina de maíz con hierro para el control de la anemia y la deficiencia de hierro en las poblaciones. *Cochrane Library*, 3(2).
https://doi.org/https://www.cochrane.org/es/CD010187/PUBHLTH_fortificacion-de-la-harina-de-maiz-con-hierro-para-la-prevencion-de-la-anemia-y-la-deficiencia-de
- Google Maps. (2020). *Invernadero de horticultura de IASA*. Google Maps:
<https://goo.gl/maps/si5ryZTxq3TqUUUmU9>
- Guillén, M., Márquez, C., De la Cruz, E., Velásquez, J., Soto, J., García, M., & Orozco, J. (2016). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc*. *Ciencias Agrícolas*, 1(16). <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506004.pdf>
- Instituto cubano de investigación de desarrollo e innovación. (ICIDCA, 2019). *Azúcar y derivados*. https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Fonte-Perez/publication/354597782_La_cachaza_y_sus_usos/links/6155f112a6fae644fbb4b365/La-cachaza-y-sus-usos.pdf
- INTAGRI. (2017). Importancia de la Hoja Bandera en el Rendimiento de Gramíneas. Serie Cereales. *Artículos Técnicos de INTAGRI*(34), 1-10.
<https://www.intagri.com/articulos/cereales/importancia-de-la-hoja-bandera-en-el-rendimiento-de-gramineas>
- INTAGRI. (2021). *Los beneficios que aportan los quelatos a las Plantas*.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/los-beneficios-que-aportan-los-quelatos-a-las-plantas>
- Izquierdo, R. (2012). *Evaluación del cultivo de maíz, como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPS-YT00102.pdf>

- Jan, B., Bhat, T., Sheikn, T., Ali, O., Bhat, M., Nazir, A., & Rashid, A. (2020). Agronomic Biofortification of Rice and Maize with Iron and Zinc. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*, 21(6), 28-37. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/346121353_Agronomic_Biofortification_of_Rice_and_Maize_with_Iron_and_Zinc_A_Review
- Jha, A., & Warkentin, T. (2020). Biofortificación de cultivos de leguminosas: estado y perspectivas futuras. *MDPI*, 9(1), 60-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants9010073>
- Kobayashi, T., Nozoye, T., & Nishizawa, N. (2019). Transporte de hierro y su regulación en plantas. *ELSEVIER*, 133(1), 11-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439>
- Lau, T., De Niamh, P., & Oruña, M. (2019). Valorización de la mazorca de maíz dulce (*Zea mays*) mediante la extracción de compuestos valiosos. *Institute Journal of Food Science Technology*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.14092>
- Lindao, M., & Loyola, R. (2018). *Análisis de la Inversión de maíz dulce para determinar su rentabilidad*. [Trabajo de Titulación, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33153/1/ANALISIS%20DE%20%20LA%20INVERSION%20DE%20MAIZ%20DULCE%20PARA%20DETERMINAR%20SU%20RENTABILIDAD.pdf>
- Majumder, S., Datta, K., & Kumar, S. (2019). Biofortificación del arroz: alto contenido de hierro, zinc y vitamina A para luchar contra el “hambre oculta”. *MDPI*, 9(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy9120803>
- Maqbool, M., & Beshir, A. (2019). Zinc biofortification of maize (*Zea mays* L.): Status and challenges. *Plant Breeding*, 138(1), 1-28. <https://doi.org/https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbr.12658>

- Masaquiza, J. (2016). *Valoración del rendimiento de maíz en relación con la aplicación de biodegradantes en el sector La Isla, Cantón Cumandá*. [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24084/1/tesis%20005%20Ingenier%C3%ADa%20Agropecuaria%20-%20Juan%20carlos%20Masaquiza%20-%20cd%20005.pdf>
- Parea, C. (2017). *Producción de maíz dulce*. Buenos Aires: INTA Ediciones. https://inta.gob.ar/sites/default/files/libesu8734_inta_asaho_web_maiz_dulce_v1.pdf
- Paredes, E. (2019). *La biodisponibilidad de hierro como factor determinante de la anemia ferroénica en menores de tres años del centro infantil del buen vivir*. [Trabajo de Titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13014>
- Peña, R. (2020). *Rendimiento de tres ecotipos de maíz forrajero (Zea mays L.)*. [Trabajo de Titulación, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23574/1/Richard%20Fabricio%20Pe%C3%B1a%20Gonz%C3%A1lez.pdf>
- Petruzzi, H., Stritzler, N., Ferri, C., Pagella, J., & Rabotnikof, C. (2005). *Determinación de materia seca por métodos indirectos: utilización del horno a microondas*. [Proyecto de Investigación, Universidad Nacional de la Pampa]. https://produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/43-uso_microondas_ms.pdf
- Preciado, P., Valenzuela, A., Pérez, L., Preciado, P., Valenzuela, A., & Pérez, L. (2022). La biofortificación foliar con hierro mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 40(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1060>

- Rodríguez, H., Higuera, J., & Bonilla, K. (2018). Innovación en la industria de la arepa de maíz en Colombia. *UdeA*, 1, 115-120.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/336226/20791755>
- Rodríguez, I. (2018). *Aplicación de nutrientes foliares en los estados fenológicos del cultivo de mora*. [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27128>
- Shakoor, A., Pratap, A., Reddiramu, Y., & Umamahesh, V. (2019). Productivity and Quality of sweet corn as influenced by agronomic fortification with zinc and iron. *Agril Science*, 5(1). <https://sasapjas.org/wp-content/uploads/2019/08/72-75.pdf>
- Siyuan, S., Tong, L., & RuiHai, L. (2018). Corn phytochemicals and their health benefits. *ELSEVIER*, 7(3), 185-195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>
- Subaedah, S., Edy, E., & Marina, K. (2021). Crecimiento, Rendimiento y Contenido de Azúcar de Diferentes Variedades de Maíz Dulce y Tiempo de Cosecha. *HINDAWI*, 1(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/8882140>
- Sulong, Y., Zakaria, A., Mohamed, S., Sajili, M., & Ngah, N. (2019). Survey on Pest and Disease of Corn (*Zea Mays* Linn) grown at BRIS Soil Area. *Abrobiotechnology*, 10(18), 75-87.
<https://doi.org/https://journal.unisza.edu.my/agrobiotechnology/index.php/agrobiotechnology/article/view/201>
- Sumanta, N., Choudhury, H., Jaishe, N., & Roy, S. (2014). Spectrophotometric Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Commonly Grown Fern Species by Using Various Extracting Solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*, 4(9), 63-69.
https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40169896/SN_Chlorophylls_2014-libre.pdf?1447931408=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSpectrophotometric_Analysis_of_Chlorophy.pdf&Expires=1677462584&Signature=gmUTyjjwWK6HzcSyrw8uziUYDjv5DJzHlPv1VuJnFC

Tayebbeh, A., Seyed, K., Abdolreza, A., & Ashfaq, R. (2020). El papel de las bacterias productoras de ACC desaminasa en la mejora de la productividad del maíz dulce (*Zea mays* L. var *saccharata*) bajo una disponibilidad limitada de agua de riego. *Scientific reports*, 10(1). <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77305-6>

Villareal, V. (2018). *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (fragaria x ananassa) variedad festival*. [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14539/T-IASA%20I-005444.pdf?sequence=1&isAllowed=y>