



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## 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



## MAÍZ DULCE



El maíz dulce corresponde a una variedad de híbrido que ha sido cultivada con el fin de incrementar el contenido de azúcar.

### Usos

- Alimento para humanos
- Alimento y forraje para animales
- Etanol
- Producción de azúcar en una industria

ADV9139

- Mayor cantidad de azúcares
- 160 días cosecha
- Stay Green (Caña verde y viva hasta la cosecha)
- Forrajero gran biomasa

- Este producto es originario de América.
- 210 millones de hectáreas de cultivo en el mundo
- Ecuador, producción anual mayor al millón de toneladas





La estacionalidad de la producción forrajera

Afecta

- Productor lechero

Causas

- Marcadas épocas invierno- verano
- Cambios climáticos de las últimas décadas



- Fuentes de Hierro:
- Quelato EDDHA
  - FeSO4

Concentración de hierro  
Incremento en variables agronómicas

Biofortificación



Alimentación

Solución



Se propone

Maíz biofortificado

Alternativa para completar déficit alimenticio.

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

**Hipótesis alternativa (H1):** La estrategia de biofortificación agronómica incide en la concentración de hierro en las hojas de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).

**Hipótesis nula (H0):** La estrategia de biofortificación agronómica no incide en la concentración de hierro en las hojas de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).

# Biofortificación

Fitomejoramiento , técnicas transgénicas o prácticas agronómicas

Mejorar la calidad de los micronutrientes de la parte comestible

Elementos minerales no están disponibles o no se trasladan fácilmente a los tejidos comestibles

Mecanismos de fertilización foliar



## Hierro

Crecimiento de las plantas:

- - Respiración
- - Biosíntesis de la clorofila
- - Fotosíntesis

### Quelato EDDHA

- Evitan la toxicidad de los metales
- Secuestrantes de metales pesados
- Polvo cristalino de grano fino marrón rojizo oscuro

### Sulfato de hierro

- Verde-marrón
- 100% soluble, sal con la que se va a poder bajar el pH del suelo



## Ubicación del lugar de la investigación



Carrera Agropecuaria IASA I

Invernadero de horticultura

Análisis de suelo previo a instalación del ensayo

Siembra



Deshierba



Riego



Trasplante

Control químico de plagas

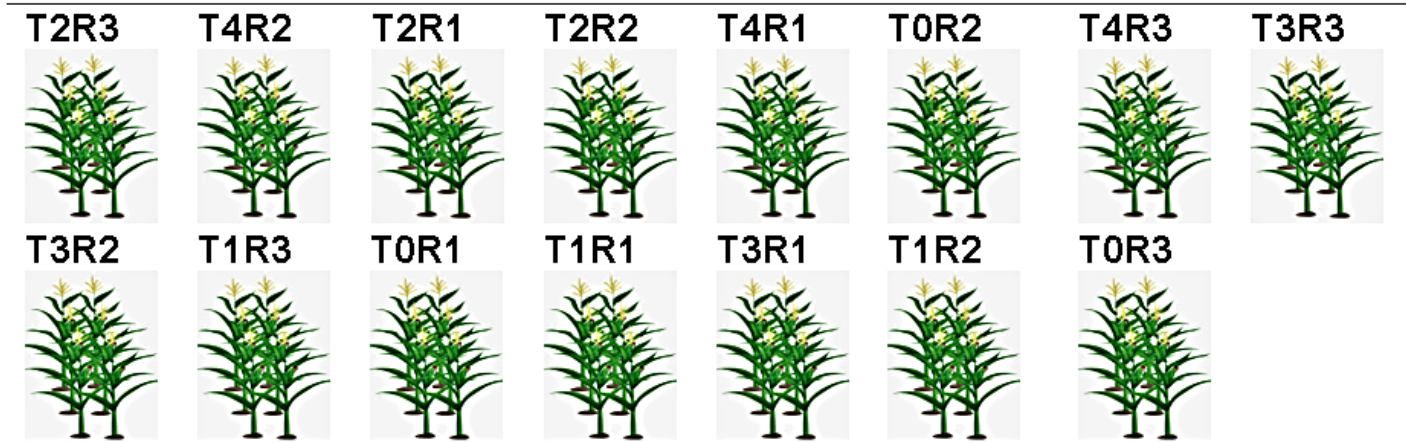




**Tabla 1** Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo
T1	Aplicación foliar (10mg de Fe x L <sup>-1</sup> Quelato de Fe EDDHA)
T2	Aplicación foliar (40mg de Fe x L <sup>-1</sup> Quelato de Fe EDDHA)
T4	Aplicación foliar (10mg de Fe x L <sup>-1</sup> Sulfato de Fe)
T5	Aplicación foliar (40mg de Fe x L <sup>-1</sup> Sulfato de Fe)

*Croquis de la distribución de los tratamientos*



15 Unidades experimentales

**Modelo matemático**

Diseño Completamente al Azar (DCA)

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

Y<sub>ij</sub>: Acumulación de Fe biodisponible en las hojas de maíz dulce.

u: Media poblacional

T<sub>i</sub>: Efecto del i-ésimo tratamiento de Fe (hierro) en la biofortificación

E<sub>ij</sub>: Error experimental.

ANOVA

Prueba de comparación de medias de Tukey

Nivel de confianza del 95%



## Factores

- 2 tipos de fuentes de hierro (Quelato EDDHA-Sulfato)
- 2 dosis (alta y baja)

## Variables a evaluar

### Variables agronómicas

- Altura
- Diámetro del tallo
- Medición de clorofila (Hansatech CL-01)
- Longitud de raíces
- 

### Variables fisiológicas

- Concentración del Hierro Biodisponible ( $Fe^{+2}$ )
- Concentración de clorofila (Ch-a, Ch-b Y Ch T)
- Determinación de la materia seca de la parte aérea planta
- Determinación de la materia seca de la raíz

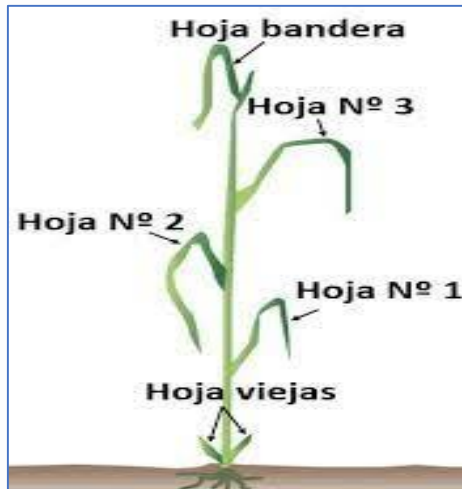
## Variables agronómicas

Altura

Diámetro

Clorofila

Longitud raíz



Antes de la inflorescencia masculina

Cada 8 días

## Variables fisiológicas

### Concentración Hierro Biodisponible



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

X: Los valores de mg/L-1 de Fe<sup>2+</sup>

Y: absorbancia espectrofotométricamente a 510nm.

## Clorofila

**Tabla 2 Descripción de los tratamientos**

Clorofila	Ecuaciones
<b>Clorofila a</b>	Ch-a=13,36* a <sup>664</sup> -5,19*a <sup>649</sup>
<b>Clorofila b</b>	Ch-b=27,43* a <sup>649</sup> -8,12*a <sup>664</sup>
<b>Clorofila Total</b>	Ch-t= Ch-a+Ch-b

Nota: Ch-a=Clorofila a, Ch-b=Clorofila b, Ch-t=Clorofila total, a=Absorbancia



## Materia Seca



$$MS = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} * 100$$

**Tabla 3** Medias  $\pm$  error estándar para la altura total

Tratamiento	Altura (cm)
T0 (Testigo)	190,03 $\pm$ 0,87 a
<del>T1 (10mg Fe x L<sup>-1</sup> de EDDHA)</del>	<del>205,60 <math>\pm</math> 0,87 c</del>
<del>T2 (40mg Fe x L<sup>-1</sup> de EDDHA)</del>	<del>217,80 <math>\pm</math> 0,87 d</del>
T3 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	200,23 $\pm$ 0,87 b
T4 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	207,80 $\pm$ 0,87 c

**Tabla 4** Medias  $\pm$  error estándar para el diámetro

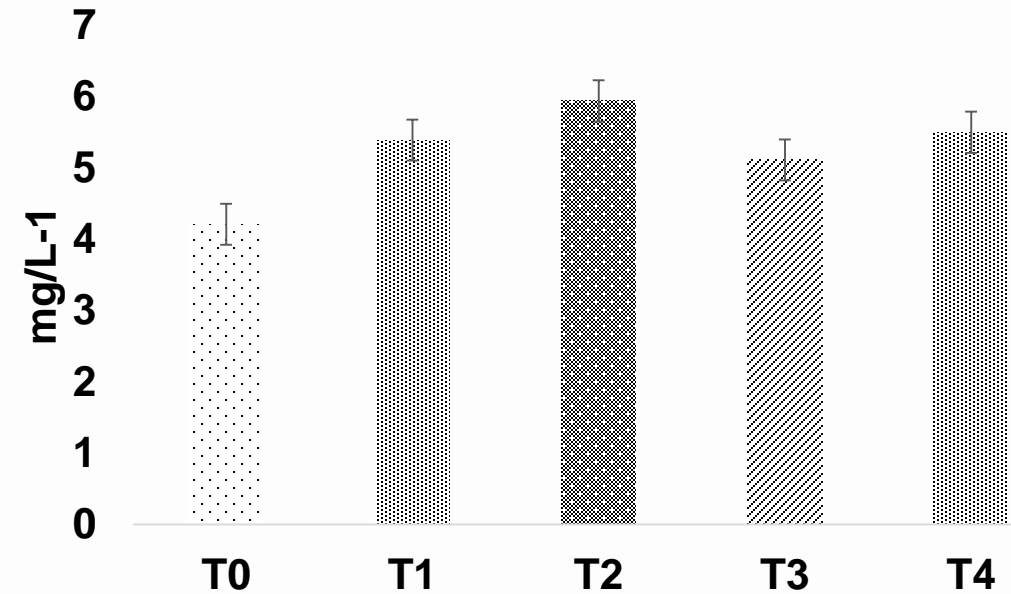
Tratamiento	Diámetro (cm)
0 (Testigo)	8,40 $\pm$ 0,24
1 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	8,87 $\pm$ 0,24
2 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	9,00 $\pm$ 0,24
3 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	8,60 $\pm$ 0,24
4 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	8,80 $\pm$ 0,24

- Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos.
- Rodríguez I. (2018) menciona que el hhierro promueve la absorción del nitrógeno
- ADVANTA (2018) menciona que a mayor altura de planta mayor biomasa.

- No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $F_{4,10} = 0,93$ ;  $p = 0,4832$ )
- Stay Green (tallo o caña de la planta permanece verde hasta el día de la cosecha)

**Tabla 5** Medias  $\pm$  error estándar del hierro biodisponible

Tratamiento	Hierro biodisponible(mg/L <sup>-1</sup> )
0 (Testigo)	4,21 $\pm$ 0,04 a
1 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	5,39 $\pm$ 0,04 c
2 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	5,94 $\pm$ 0,04 d
3 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO4)	5,11 $\pm$ 0,04 b
4 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO4)	5,50 $\pm$ 0,04 c



- Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos.
- Blair *et al.*, (2007), se evaluó el maíz híbrido QPM CML491, se evidencia un incremento de los valores de Fe.
- Preciado, *et al.*, (2022), evaluó la biofortificación de lechuga, mayor concentración del nutriente.

**Tabla 6** Medias  $\pm$  error estándar para la clorofila (%), clorofila a, clorofila b y clorofila T

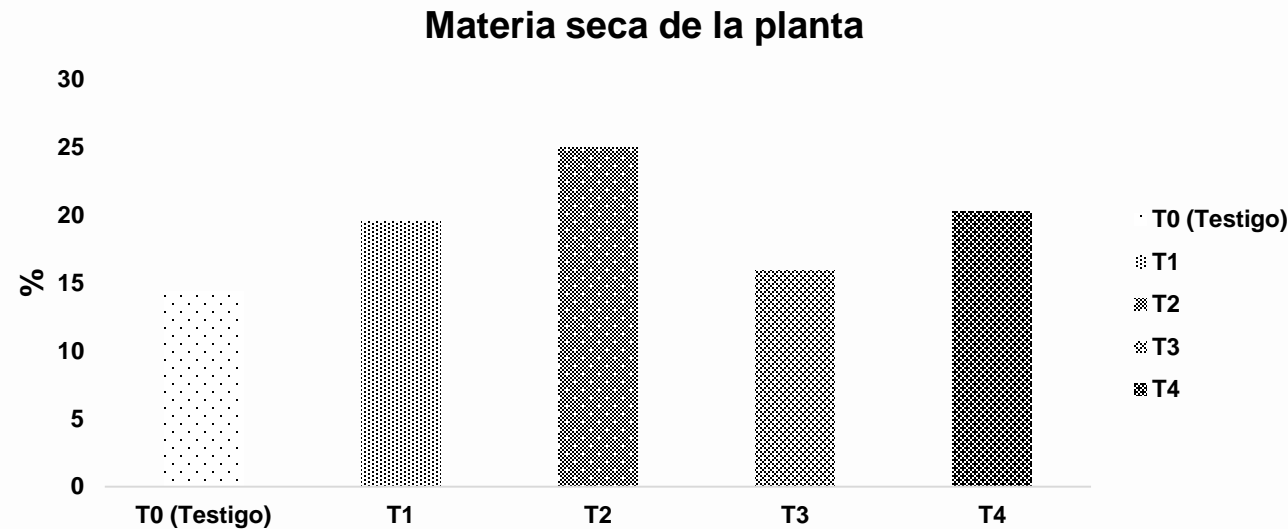
Tratamiento	Hansatec CL01		Espectrofotómetro	
	Clorofila (%)	(Ch-a) ( $\mu\text{g}/\text{ml}^{-1}$ )	(Ch-b) ( $\mu\text{g}/\text{ml}^{-1}$ )	(Ch-T) ( $\mu\text{g}/\text{ml}^{-1}$ )
0 (Testigo)	14,35 $\pm$ 0,20 a	19,26 $\pm$ 0,10 a	8,42 $\pm$ 0,16 a	27,68 $\pm$ 0,16 a
1 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	19,54 $\pm$ 0,20 c	24,38 $\pm$ 0,10 c	13,41 $\pm$ 0,16 c	37,79 $\pm$ 0,16 c
2 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	24,99 $\pm$ 0,20 d	26,44 $\pm$ 0,10 d	20,29 $\pm$ 0,16 d	46,73 $\pm$ 0,16 e
3 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	15,89 $\pm$ 0,20 b	22,64 $\pm$ 0,10 b	12,22 $\pm$ 0,16 b	34,86 $\pm$ 0,16 b
4 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	20,22 $\pm$ 0,20 c	24,52 $\pm$ 0,10 c	14,14 $\pm$ 0,16 c	38,66 $\pm$ 0,16 d

Nota: Ch-a=Clorofila a, Ch-b=Clorofila b, Ch-t=Clorofila total

- Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos.
- 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

**Tabla 7** Medias  $\pm$  error estándar de materia seca (MS) de la planta y raíz

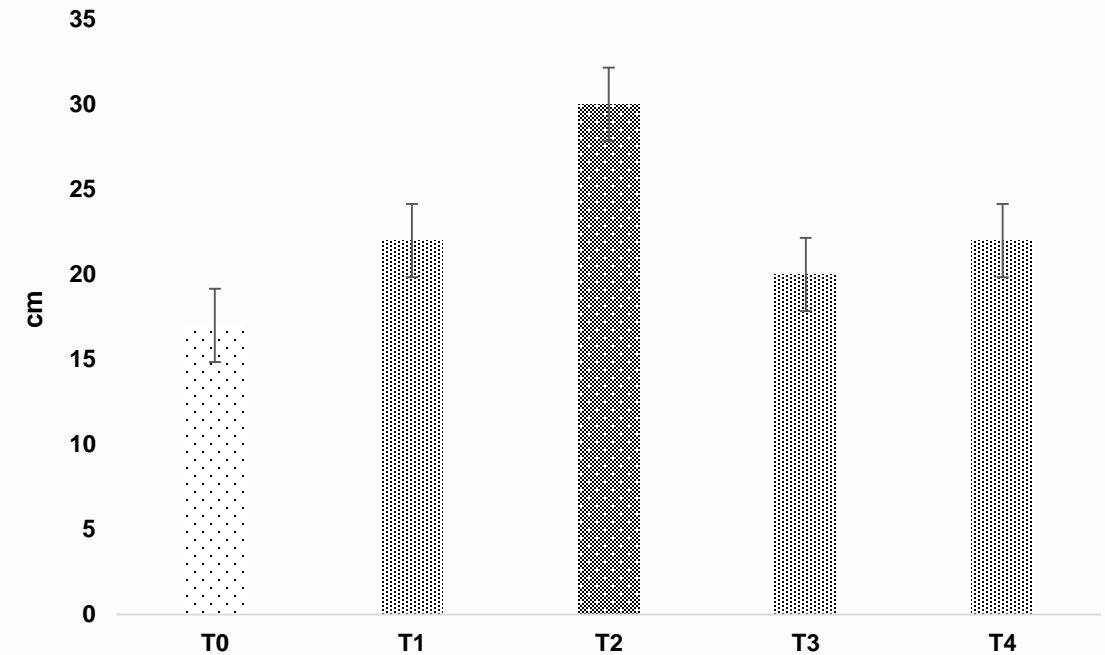
Tratamiento	MS planta (%)	MS raíz (%)	MS Total (%)
<b>0 (Testigo)</b>	11,88 $\pm$ 0.05 a	14,38 $\pm$ 0.26 a	26,26 $\pm$ 0,27 a
<b>1 (10mg Fe x L<sup>-1</sup> de EDDHA)</b>	14.69 $\pm$ 0.05 c	17.11 $\pm$ 0.26 b	31,80 $\pm$ 0,27 c
<b>2 (40mg Fe x L<sup>-1</sup> de EDDHA)</b>	18.16 $\pm$ 0.05 e	22.06 $\pm$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



- Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el T0 (Testigo) y los demás tratamientos.
- Elizondo & Boschini (2002) menciona que la materia seca determina la calidad del forraje, ya que nos indica la cantidad total de nutrientes que pueden ser aprovechados para la ganancia de peso.

**Tabla 8** Medias  $\pm$  error estándar de longitud de raíz

Tratamiento	Longitud raíz (cm)
0 (Testigo)	17.0 $\pm$ 0.58 a
1 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	22.0 $\pm$ 0.58 b
2 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de EDDHA)	30.0 $\pm$ 0.58 c
3 (10mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	20.0 $\pm$ 0.58 b
4 (40mg Fe x L <sup>-1</sup> de FeSO <sub>4</sub> )	22.0 $\pm$ 0.58 b



- Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el T2 y los demás tratamientos.
- BIOSEM (2015), Menciona que el híbrido ADV9139 es resistente al acame y sus factores pueden ser: plantas con poco desarrollo radical, Mucha humedad debido a un fuerte riego o inundación por lluvia o vientos con velocidad mayor a los 30 km/h



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



MS de la planta  
18,16%  
MS de la raíz 22,06%  
MS total 40,22%

Altura  
217.80cm  
Diámetro  
9.00cm

Clorofila 24.99%  
Longitud de la raíz 30 cm.

- La aplicación foliar de 40 mg de Fe x L<sup>-1</sup> de Quelato de Fe EDDHA para la biofortificación con Fe de maíz dulce (*Zea mays* var. ADV9139).
- Seguir la investigación hasta la etapa de cosecha y analizar el grano de maíz para verificar la eficacia de la biofortificación.
- Seleccionar otras variedades de maíz con potencial de mejoramiento y/o genético
- 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.

# Agradecimientos

