



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Evaluación de dos fuentes de hierro y sus dosis para la biofortificación de trigo

(*Triticum aestivum*) variedad Imbabura y San Jacinto

Beltrán Correa, Andrea Estefanía

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

28 de febrero de 2023



Hierro



Biofortificación

Busca respuestas para el hambre y la desnutrición

Basadas en tecnologías específicas



Reacciones óxido
reducción

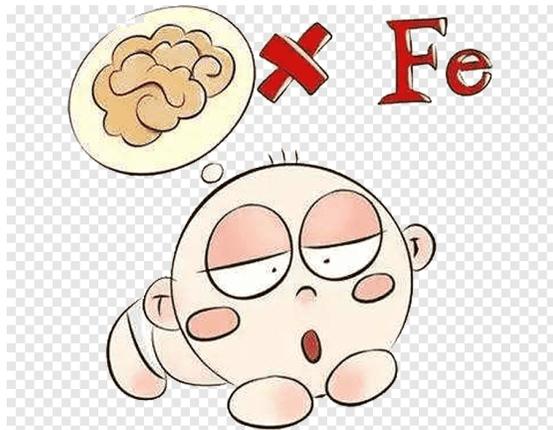
Control de la síntesis
de cloroplastos

Regulación de la actividad en
cientos de enzimas

Martínez *et al.*, (2008).



World Health Organization



La deficiencia de Fe como uno de los 10 riesgos más amenazantes para la salud.

Afecta su potencial cognoscitivo, motriz y socio emocional.



60 y 80% de la población mundial padece deficiencia en hierro



1996 el MSP inicia el PIM (Programa Integrado de Micronutrientes)



Yodo, hierro y vitamina A,

Paredes *et al.*, (2009).



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivo general

Evaluar la biofortificación con hierro en trigo (*Triticum aestivium*) variedad Imbabura y San Jacinto a nivel de maceta para establecer la variedad, dosis y fuente de fertilizante más adecuada.

Objetivos específicos

- Establecer la mejor fuente, dosis y bioacumulación de hierro en forma foliar sobre plantas de trigo variedades Imbabura y San Jacinto.
- Evaluar las variables agronómicas, fisiológicas sobre plantas de trigo variedades Imbabura y San Jacinto.

- **H₀**: La aplicación de diferentes dosis de fuentes de hierro a través de la biofortificación foliar no incrementan la asimilación del nutriente en el trigo (*Triticum aestivium*) en las variedades Imbabura y San Jacinto.
- **H₁**: La aplicación de diferentes dosis de fuentes de hierro a través de la biofortificación foliar incrementan la asimilación del nutriente en el trigo (*Triticum aestivium*) en las variedades Imbabura y San Jacinto

MARCO TEÓRICO

Biofortificación de los cultivos

Cultivos tradicionales

Nicho de mercado e importancia agrícola

INIAP SAN JACINTO 2010

46 granos por espiga

Grano oblongo y color blanco

Espiga tipo barba y compacta



Falconí *et al.*, (2010).

Trigo en el Ecuador

Arroz y cebada



- 28.890 hectáreas
- Importa el 98% y tan solo el 2% (900TM) es producido a nivel local Basantes (2015).

INIAP IMBABURA 2014

45 granos por espiga

Grano oblongo y color rojo

Espiga compacta



MARCO TEÓRICO

HIERRO EN LA PLANTA

Fotosíntesis

Formación de la protoclorofila

Procesos enzimáticos

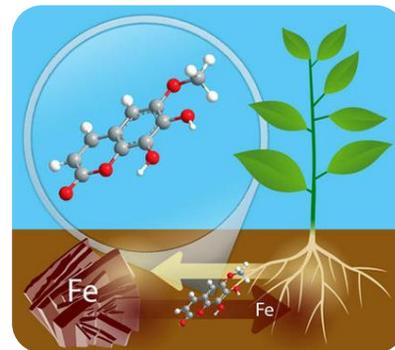
Complejos hémicos

Citocromos
Catalasa
Peroxidasa
Ferredoxina

Complejos no hémicos

Hierro de reserva

Fitoferritina



FUENTES DE HIERRO

QUELATOS

- **Fe- EDDHA:** Estable a niveles de pH por encima de 10.

SULFATOS

- **Sulfato ferroso:** 100% soluble



Heeren (2021).



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Se realizó en el invernadero de horticultura en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
Provincia Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia Selva Alegre

Condiciones del invernadero

- **Temperatura:** min. 10 °C y máx. 35 °C
- **Humedad relativa:** 40-60 %
- **Radiación:** 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



FASE DE CAMPO

- Semilleros.
- Semillas de trigo variedad Imbabura y San Jacinto
- Sustrato: Turba importada + pomina (3:1)

- Macetas: 3.5 L
- Sustrato: Tierra negra y pomina (70:30)

- Quelato de Fe-EDDHA
- FeSO₄



Análisis químico del sustrato

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

METODOLOGÍA

FASE DE LABORATORIO

- 59 días DDT
- 0.25 g de MF
- 2.5 ml de etanol al 96%
- Centrifugó 10000 r.p.m

Pruebas destructivas

- 2g de MF
- Trozos de 2mm
- 7ml al 1.5% (p/p) 1,10-fenantrolina

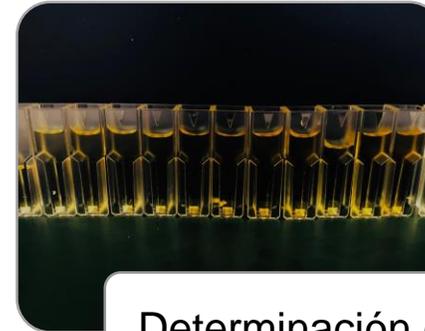
- Centrifugó 9200 r.p.m
- Espectrofotómetro
- Lectura 510 nm



Concentración de clorofila



Peso seco



Determinación de Fe+2



Longitud de raíz

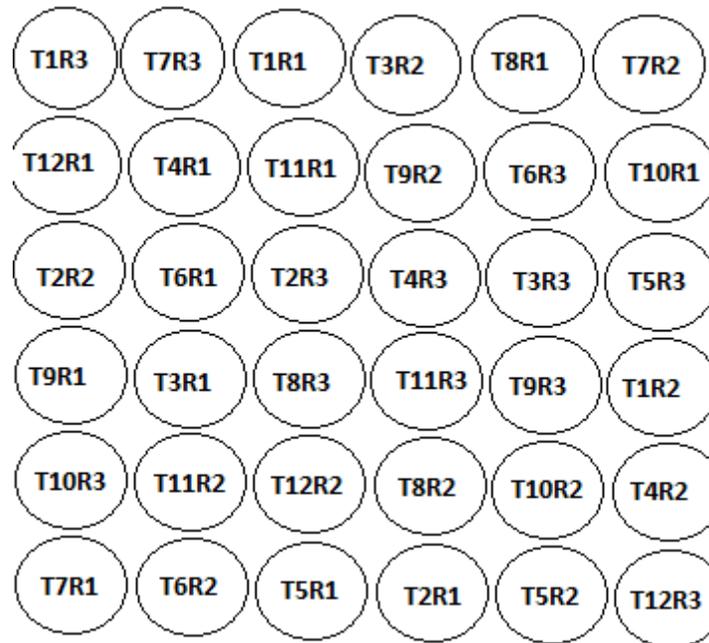
- Espectrofotómetro
- 645nm (Ch-a)
- 663 nm (Ch-b)

Diseño experimental

Fuentes de hierro	Variedad	Dosis (mg L ⁻¹)	
E.D.D.H.A	V1 Imbabura	0	T1
		10	T2
		40	T3
E.D.D.H. A	V2 San Jacinto	0	T4
		10	T5
		40	T6
FeSO ₄ *7H ₂ O	V1 Imbabura	0	T7
		10	T8
		40	T9
FeSO ₄ *7H ₂ O	V2 San Jacinto	0	T10
		10	T11
		40	T12

Nota. Elaboración propia.

Croquis del experimento



- DCA con tres repeticiones

$$Y_{ij} = \mu + D_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Producción de las plantas de trigo

μ = Media general

δ_i = Efecto del i-ésima dosis de Fe en la biofortificación

e_{ij} = Error experimental.

- Análisis de varianza (ANAVA)
- Pruebas de comparación de medias DUNCAN
- Software estadístico INFOSTAT

ALTURA DE LA PLANTA

Tabla 1

Medias \pm desviación estándar de altura en las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedades Imbabura y San Jacinto fuentes de E.D.D.H.A y $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

VARIEDAD	FUENTE	Medias (cm)	
Imbabura	SULFATO	30,67 \pm 3,88 a	T9
San Jacinto	EDDHA	27,27 \pm 2,67 b	
San Jacinto	SULFATO	26 \pm 2,64 b	
Imbabura	EDDHA	25,38 \pm 4,97 b	
San Jacinto	TESTIGO	28,61 \pm 5,65 ab	
Imbabura	TESTIGO	27,61 \pm 2,39 ab	

Nota. Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p > 0,05$) con $n=9$.

Falconí et al., (2010) e INIAP (2014)
Registraron valores entre 88 cm en la variedad San Jacinto y 105 cm para la variedad Imbabura

Se encontraron efectos significativos para la interacción Variedad y Fuente, donde las plantas de trigo variedad Imbabura con una fuente de $FeSO_4$ presentaron mayor altura que el resto de plantas de trigo.

T1=Var. Imbabura 0mg/L⁻¹ EDDHA, **T2**= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ EDDHA, **T3**= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ EDDHA, **T4**=Var. San Jacinto 0mg/L⁻¹ EDDHA, **T5**= Var. San Jacinto 10mg/L⁻¹ EDDHA, **T6**= Var. San Jacinto 40mg/L⁻¹ EDDHA, **T7**= Var. Imbabura 0mg/L⁻¹ HSO₄, **T8**= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ HSO₄, **T9**= Var. Imbabura 40mg/L⁻¹ HSO₄, **T10**= Var. San Jacinto 0mg/L⁻¹ HSO₄, **T11**= Var. San Jacinto 10mg/L⁻¹ HSO₄, **T12**= Var. San Jacinto 40mg/L⁻¹ HSO₄

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LONGITUD DE LA RAÍZ

Tabla 2

Medias \pm Desviación estándar de la longitud de la raíz de las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedades Imbabura y San Jacinto fuentes de E.D.D.H.A y FeSO₄*7H₂O y dosis de 0mg/L⁻¹ -10mg/L⁻¹ - 40mg/L⁻¹

VARIEDAD	FUENTE	DOSIS	MEDIAS (cm)
San Jacinto	FeSO ₄	0	25,67 \pm 2,52 b
San Jacinto	FeSO ₄	10	28,67 \pm 5,03 ab
San Jacinto	FeSO ₄	40	26 \pm 3 b
San Jacinto	EDDHA	0	29 \pm 3 ab
San Jacinto	EDDHA	10	25,67 \pm 2,08 b
San Jacinto	EDDHA	40	36,67 \pm 15,01 ab
Imbabura	FeSO ₄	0	27 \pm 1 b
Imbabura	FeSO ₄	10	30 \pm 4 ab
Imbabura	FeSO ₄	40	38,67 \pm 1,15 a
Imbabura	EDDHA	0	25,67 \pm 8,14 b
Imbabura	EDDHA	10	31,67 \pm 2,08 ab
Imbabura	EDHHA	40	26,33 \pm 5,51 b

Nota. Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($p>0,05$)

con un n=3

T1=Var. Imbabura 0mg/L⁻¹ EDDHA, T2= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ EDDHA, T3= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ EDDHA, T4=Var. San Jacinto 0mg/L⁻¹ EDDHA, T5= Var. San Jacinto 10mg/L⁻¹ EDDHA, T6= Var. San Jacinto 40mg/L⁻¹ EDDHA, T7= Var. Imbabura 0mg/L⁻¹ HSO₄, T8= Var. Imbabura 10mg/L⁻¹ HSO₄, T9= Var. Imbabura 40mg/L⁻¹ HSO₄, T10= Var. San Jacinto 0mg/L⁻¹ HSO₄, T11= Var. San Jacinto 10mg/L⁻¹ HSO₄, T12= Var. San Jacinto 40mg/L⁻¹ HSO₄

Mengel & Kirkby (2000)

Se ve influenciada por varios factores, uno de los principales es el contenido de nutrientes, al igual por la absorción de Fe mediante las células radiculares, su expresión está inducida en la epidermis radicular

Se encontraron efectos significativos para la interacción triple variedad*fuentes*dosis, donde las plantas variedad Imbabura FeSO₄ 40mg/L⁻¹ presentaron mayor longitud de raíz que el resto de plantas de trigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PESO SECO

Tabla 3

Medias \pm desviación estándar del peso seco de las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedades Imbabura y San Jacinto fuentes de E.D.D.H.A y $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y dosis de 0mg/L^{-1} - 10mg/L^{-1} - 40mg/L^{-1}

VARIEDAD	FUENTE	DOSIS	MEDIAS (g)	
San Jacinto	SULFATO	40	3,25 \pm 0,66	T6
San Jacinto	SULFATO	10	3,01 \pm 0,09	
San Jacinto	SULFATO	0	3,01 \pm 0,26	
San Jacinto	EDDHA	40	3,22 \pm 0,20	T10
San Jacinto	EDDHA	10	2,62 \pm 0,89	
San Jacinto	EDDHA	0	3,06 \pm 0,11	
Imbabura	SULFATO	40	2,96 \pm 0,96	T9
Imbabura	SULFATO	10	2,91 \pm 0,66	
Imbabura	SULFATO	0	2,89 \pm 0,32	
Imbabura	EDDHA	40	2,47 \pm 0,42	
Imbabura	EDDHA	10	2,27 \pm 0,13	
Imbabura	EDDHA	0	2,58 \pm 0,90	

Hewstone (1999)

La absorción de nutrientes acumulados en las plantas de trigo son los componentes que delimitan el peso seco.

No se encontraron efectos significativos para la interacción triple variedad*fuente*dosis sobre el peso seco de las plantas de trigo

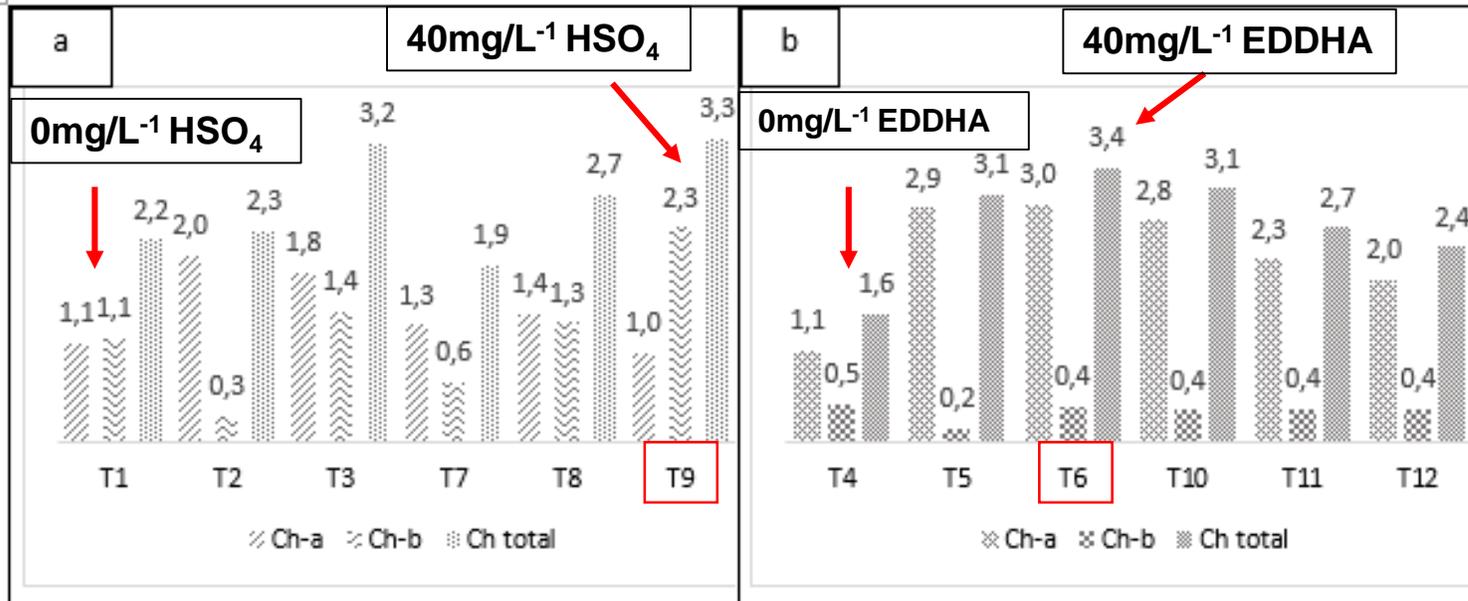
T1=Var. Imbabura 0mg/L^{-1} EDDHA, T2= Var. Imbabura 10mg/L^{-1} EDDHA, T3= Var. Imbabura 10mg/L^{-1} EDDHA, T4=Var. San Jacinto 0mg/L^{-1} EDDHA, T5= Var. San Jacinto 10mg/L^{-1} EDDHA, T6= Var. San Jacinto 40mg/L^{-1} EDDHA, T7= Var. Imbabura 0mg/L^{-1} HSO_4 , T8= Var. Imbabura 10mg/L^{-1} HSO_4 , T9= Var. Imbabura 40mg/L^{-1} HSO_4 , T10= Var. San Jacinto 0mg/L^{-1} HSO_4 , T11= Var. San Jacinto 10mg/L^{-1} HSO_4 , T12= Var. San Jacinto 40mg/L^{-1} HSO_4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA

Figura 1

Cantidad de clorofila A (Ch-a), clorofila B (Ch-b) y clorofila total (Ch-t) de las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedad San Jacinto y variedad Imbabura



Hansen et al. (1996).

Fe juega un papel importante en la formación de protoclorofila y en la síntesis de pigmentos fotosintéticos, los cuales son los encargados de dar la coloración verde a las plantas, y la disminución de Fe provoca la reducción de tetrapirroles dando la clorosis férrica.

Rivera et al. (2009)

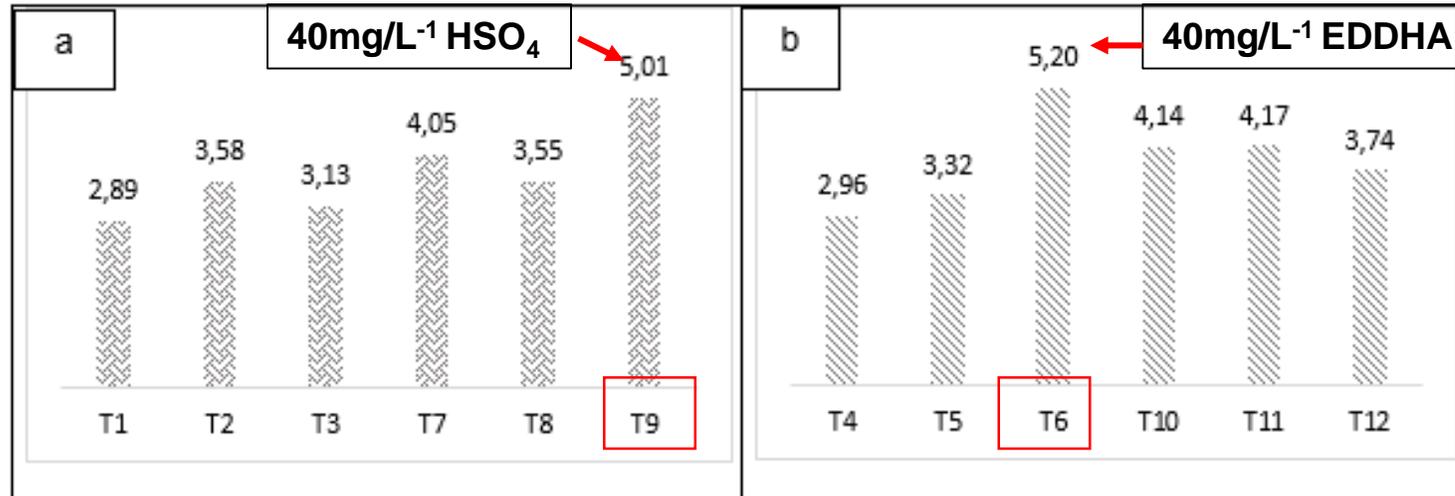
Aplicación de quelato Fe-EDTA aumenta 0.25% del contenido de Fe en cítricos, ya que una deficiencia, disminuye el contenido de la clorofila, provocando clorosis férrica.

San Jacinto tuvo un efecto significativo con una concentración de 3,4 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ con dosis de 40mg.L⁻¹ E.D.D.H.A y la variedad Imbabura, con una concentración de 3,3 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ con dosis de 40mg.L⁻¹ FeSO₄

HIERRO BIODISPONIBLE

Figura 2

Concentración de hierro biodisponible de las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedad Imbabura y San Jacinto



Díaz (2019)

Registró valores entre 5,33 ppm en pasto rye grass en hojas y raíz, al segundo corte con la aplicación de FeSO₄ en una dosis de 25 ppm de Fe .

San Jacinto obtuvo la mayor biodisponibilidad de hierro con 5,20 ppm en dosis de 40mg. L⁻¹ E.D.D.H.A, mientras que la variedad Imbabura obtuvo la mayor biodisponibilidad de hierro con 5, 01 ppm en dosis de 40mg. L⁻¹ FeSO₄.

CONCLUSIONES

- La aplicación del T6 (E.D.D.H.A, 40mg. L⁻¹) sobre las plantas de trigo (*Triticum aestivium*) variedad San Jacinto se consideró como el mejor tratamiento por la mayor concentración de hierro con 5,10 ppm, absorción de clorofila 3,4 ug/ml⁻¹, longitud de raíz 36,67cm y peso seco 3,45 g.
- Para la variedad San Jacinto la fuente de Hierro con mayor bioacumulación fue Fe-E.D.D.H.A, 40mg. L⁻¹ con 5,10 ppm, mientras que para la variedad Imbabura la mejor fuente de absorción de Fe fue el FeSO₄, 40mg.L⁻¹ con 5,01 ppm.
- La mayor altura se presentó en la variedad Imbabura bajo el efecto de FeSO₄, 40mg.L⁻¹, y para la variedad San Jacinto E.D.D.H.A, 40mg.L⁻¹ respectivamente.
- La mayor concentración de clorofila se obtuvo con la aplicación de Fe-E.D.D.H.A 40mg.L⁻¹ en las plantas de trigo variedad San Jacinto con 3,4 ug/ml⁻¹, junto con la variedad Imbabura con la aplicación de FeSO₄, 40mg.L⁻¹ con 3,3 ug/ml⁻¹.

RECOMENDACIONES

- Usar para las plantas de trigo variedad San Jacinto la fuente E.D.D.H.A y dosis de 40 mg/ L⁻¹, las cuales mostraron mejor absorción de hierro a diferencia de la variedad Imbabura tratadas bajo el efecto de la fuente E.D.D.H.A y dosis de 40mg. L⁻¹
- Probar el trigo biofortificado en la alimentación de los niños con desnutrición crónica.
- Para el uso de una biofortificación en hierro en trigo se recomienda la variedad San Jacinto.
- Realizar más estudios de biofortificación con hierro con las mismas dosis en diferentes gramíneas o cereales, y con ello obtener mayor diversidad de productos biofortificados.

AGRADECIMIENTOS



CARRERA DE
AGROPECUARIA



GRACIAS