



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

**“Evaluación de la impregnación de semillas con  
Fe sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (Zea mays L.) var.  
Bandit**

Arias Factos Nicole Gabriela

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

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

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

1 de febrero del 2022

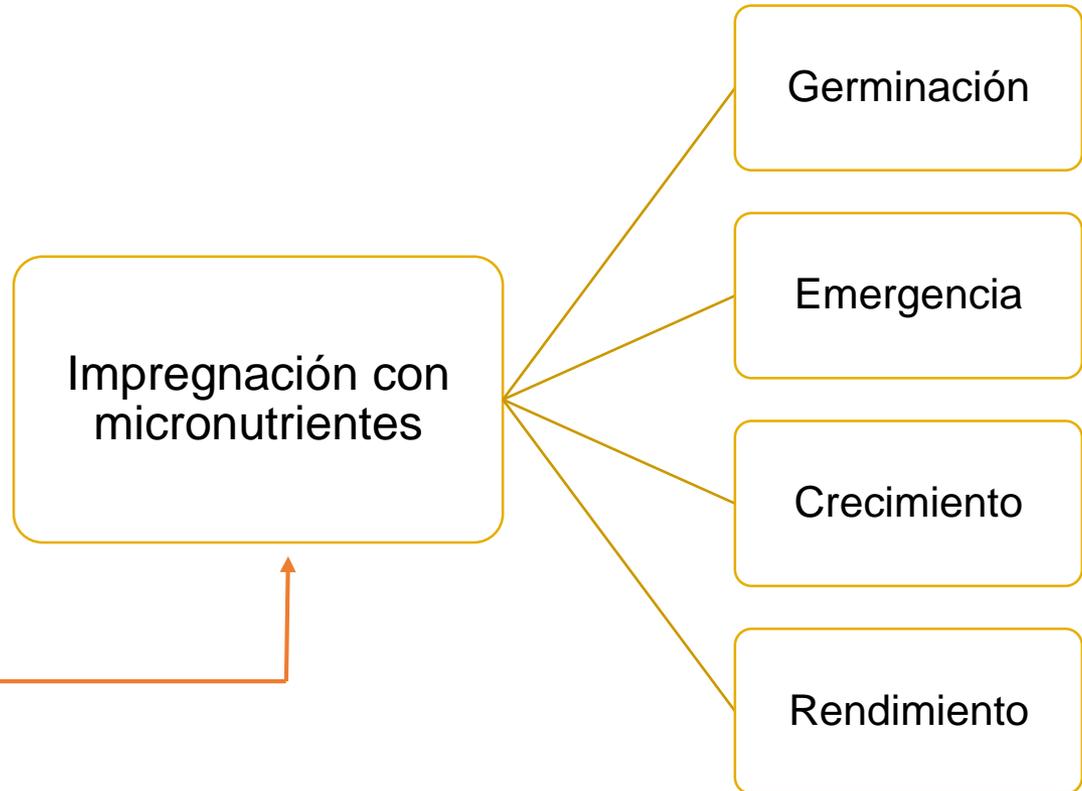


# INTRODUCCIÓN

Deficiencias de micronutrientes se han reportado en todo el mundo

Afectan el rendimiento, establecimiento y desarrollo de cultivos.

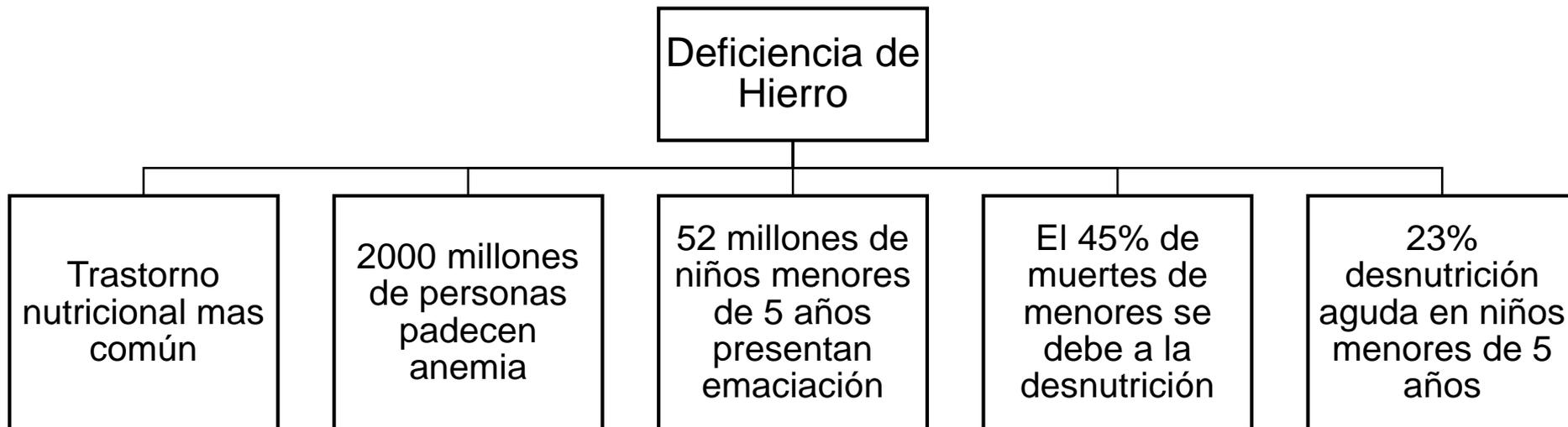
Creación de nuevas tecnologías para nutrición



**Fuente:**(Prerna et al., 2021; Nciizah et al., 2020; Sharifi et al., 2016)

# JUSTIFICACIÓN

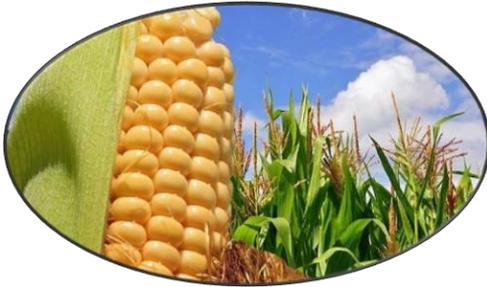
La malnutrición proteíno-energética, carencia de vitamina A y anemias nutricionales se originan por el consumo deficiente de hierro principalmente , esta a su vez desencadena una serie de problemas más graves como la morbilidad y mortalidad infantil



**Fuente:**(Gómez, 2003; OMS, 2020; ENSANUT, 2018)

# JUSTIFICACIÓN

Maíz (*Zea mays*)



Arroz (*Oryza sativa*)



Trigo (*Triticum sp.*)



En Ecuador, la provincia de Los Ríos concentra la mayor área de producción correspondiente a 225 hectáreas cultivada de maíz dulce.



Fuente:(Ji et al., 2013)



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

## Objetivo general

Evaluar el efecto de la impregnación de hierro sobre la germinación de semillas y vigor de las plántulas de maíz dulce (*Zea mays* L.) var. Bandit.

## Objetivos específicos

Determinar las dosis óptimas de hierro y tiempo de impregnación mediante una prueba estándar de germinación sobre semillas de maíz (*Zea mays* L.) var. Bandit.

Evaluar parámetros agronómicos y fisiológicos en plántulas de maíz sometidas a un proceso de impregnación con diferentes dosis de hierro antes de su siembra.

Medir el contenido de hierro biodisponible de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) var. Bandit.

# HIPÓTESIS

**H0:** La impregnación de diferentes dosis de hierro no influye en el porcentaje de germinación de plántulas de maíz.

**H0:** La impregnación de diferentes dosis de hierro no incrementa el contenido de clorofila en plántulas de maíz

**H0:** El contenido de hierro biodisponible en plántulas de maíz no difiere por la impregnación de diferentes dosis de hierro.

**H1:** La impregnación de diferentes dosis de hierro influye en el porcentaje de germinación de plántulas de maíz.

**H1:** La impregnación de diferentes dosis de hierro incrementa el contenido de clorofila en plántulas de maíz.

**H1:** El contenido de hierro biodisponible en plántulas de maíz difiere por la impregnación de diferentes dosis de hierro.

## MAIZ DULCE

Origen: Los Andes peruanos.  
Mutación de una especie  
endémica Chullpi.

### Taxonomía

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Familia: Poaceas  
Género: Zea

### Descripción botánica

Planta monoica anual  
Tallo simple, macizo, erecto  
Hojas alternas lanceoladas  
Sistema radicular fibroso



Posee un gen  
recesivo llamado  
Sugary 1 (su1)  
que inhibe la  
transformación  
de azúcar en  
almidón en su  
etapa de  
maduración, lo  
que le otorga al  
grano su sabor  
dulce y su textura  
suave

**Fuente:**(Guacho, 2014; Ortigoza et al., 2019; Parera, 2017; )

# MARCO REFERENCIAL

## CICLO DEL CULTIVO

- Es cultivado en época de verano o primavera.
- requiere suelos que tengan un buen drenaje y alta permeabilidad
- Es tolerante a pH entre 5,6 - 8,4 siendo el óptimo entre 5,6-6,5
- Temperatura:  
Germinación: 15 - 17°C,  
Desarrollo: 25 - 30 °C

ETAPA VEGETATIVA	ETAPA REPRODUCTIVA
VE = Emergencia	R1 = Barbas (estigmas)
V1 = Primera hoja	R2 = Grano ampolla
V2 = Segunda hoja	R3 = Grano lechoso
V3 = Tercera hoja	R4 = Grano masa
Vn = n hoja	R5 = Grano dentado
VT = Panojado	R6 = Madurez fisiológica

Fuente:(Parera, 2017; Saavedra et al., 2019; Saavedra & González, 2014)



## UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Carrera de Ingeniería  
Agropecuaria IASA I, de la  
Universidad de las Fuerzas  
Armadas ESPE



Fuente: Google Maps

**Provincia:** Pichincha  
**Cantón:** Rumiñahui  
**Parroquia:** Sangolquí  
Hacienda “El Prado ”



**Altitud:** 2748 m.s.n.m  
**T. Media anual:** 24,25 °C  
**Humedad relativa:** 34%

Fuente: (Villareal, 2018)

## DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS

**Tabla 1.** Terminología de los tratamientos con las diferentes dosis de Fe y tiempos de impregnación

	Dosis (mg/L)	Tiempo (minutos)	Nomenclatura	Tratamiento
FeSO <sub>4</sub>	0	30	F0M30	T1
		60	F0M60	T2
		90	F0M90	T3
		120	F0M120	T4
	6	30	F6M30	T5
		60	F6M60	T6
		90	F6M90	T7
		120	F6M120	T8
	12	30	F12M30	T9
		60	F12M60	T10
		90	F12M90	T11
		120	F12M120	T12
	18	30	F18M30	T13
		60	F18M60	T14
		90	F18M90	T15
		120	F18M120	T16

Los factores de estudio fueron la dosis de hierro (0, 6, 12 y 18 mg.L<sup>-1</sup>) y tiempo de remojo (30, 60, 90 y 120 min) . Los tratamientos se obtuvieron al cruzar los niveles de los dos factores en estudio, el resultado fueron 16 tratamientos con tres repeticiones cada uno, en total el experimento contó con 48 unidades experimentales

**Fuente:**(Perna et al., 2021)

## VARIABLES EVALUADAS

1



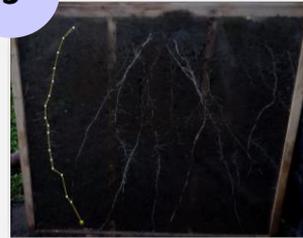
Porcentaje de germinación

2



Índice de vigor

3



Longitud de raíz en rizotrones

4



Velocidad de crecimiento de raíz

5



Contenido de clorofila

6



Contenido de hierro biodisponible

# METODOLOGÍA

## PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1%.



Se preparó una solución madre de 36 mg.L<sup>-1</sup> de Fe y se tomaron alícuotas para obtener diferentes concentraciones.



Las semillas se remojaron en 100 ml de las soluciones a diferentes concentraciones durante 30, 60, 90 y 120 minutos



$$\% \text{ germinación} = \frac{\# \text{ de semillas germinadas}}{\# \text{ total de semillas sembradas}} \times 100$$

Las bandejas estuvieron dentro de una incubadora durante 7 días



Las semillas fueron colocadas en bandejas de plástico con papel toalla previamente humedecido.



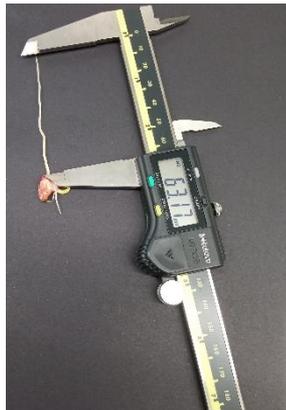
# METODOLOGÍA

## ÍNDICE DE VIGOR



Se midió la longitud del brote y de la radícula de 10 semillas germinadas tomadas al azar (día siete).

$vigor = \% \text{ de germinación} \times \text{longitud (raíz + brote)}$



## LONGITUD DE RAÍZ Y VELOCIDAD DE CRECIMIENTO RADICULAR



Se sembraron 3 semillas de cada tratamiento en rizotrones de 45 x40 x10 cm



El registro se realizó mediante fotografías y la longitud de las raíces se midió con ayuda del programa ImageJ



La velocidad de crecimiento radicular se midió mediante la siguiente fórmula

$$\text{Velocidad de crecimiento} = \frac{\Delta w}{\text{Periodo de tiempo}}$$

# METODOLOGÍA

## MEDICIÓN DE CLOROFILA

Se pesaron 0,25g de hojas de maíz dulce var. Bandit



Se trituro en el mortero y se separó en 2,5 ml de etanol al 95%



Se maceró a 8 mL y se dejó reposar durante 24 horas a -4 °C en tubos de ensayo.



Por último el sobrenadante fue separado en tubos de ensayo y se midió las muestras a 664 y 649 nm en el espectrofotómetro



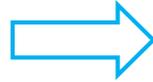
Se centrifugó a 10.000 rpm por un lapso de tiempo de 15 min



# METODOLOGÍA

## EXTRACCIÓN DE HIERRO FERROSO (FE 2+)

Se preparó una solución de 1,10- fenantrolina al 1,5% (p/p) (en H<sub>2</sub>O, ajustado a pH 3.0 con 1 M de HCl)



Se tomó 2 g de las hojas de maíz dulce var. Bandit



Se colocaron en vasos de precipitación con 20 ml de la solución de 1,10- fenantrolina



se procedió a mantener durante 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente se filtró

La lectura se realizó en el espectrofotómetro a 510 nm.



## DISEÑO EXPERIMENTAL

El efecto de la impregnación de hierro en semillas de maíz dulce se desarrolló mediante un Diseño Completamente al azar (DCA) en arreglo bifactorial con tres repeticiones.

El efecto de la impregnación de diferentes dosis hierro en diferentes tiempos de remojo se caracterizó mediante estadística descriptiva (media, error estándar, coeficiente de variación), para comparar el porcentaje de germinación, vigor de las plántulas, crecimiento radicular, se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para experimento bifactorial a un nivel del significancia de 5%. Para el contenido de clorofila y hierro se realizó un análisis de Pearson.

Todos los análisis se realizaron en el programa INFOSTAT..



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN E ÍNDICE DE VIGOR

**Tabla 2.** Promedio  $\pm$  desviación estándar de porcentajes de germinación e índice de vigor en semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. *Bandit*.

Tratamiento	Tiempo (minutos)	dosis de Fe (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Porcentaje de germinación (%)	VI	
T1	0	30	92,7 $\pm$ 3,21	5657,09 $\pm$ 109,71	Ns.
T2		60	93,3 $\pm$ 1,15	5600,67 $\pm$ 479,01	
T3		90	93,3 $\pm$ 2,52	5922,43 $\pm$ 200,37	
T4		120	93,7 $\pm$ 1,15	4932,63 $\pm$ 1030,5	
T5	6	30	91,3 $\pm$ 2,52	5091,77 $\pm$ 540,65	
T6		60	95,3 $\pm$ 3,21	5829,72 $\pm$ 126,73	
T7		90	95,0 $\pm$ 1,00	6289,51 $\pm$ 83,620	
T8		120	92,3 $\pm$ 2,52	6175,90 $\pm$ 246,76	
T9	12	30	92,7 $\pm$ 2,13	5264,43 $\pm$ 1022,0	
T10		60	93,0 $\pm$ 1,00	5471,1 $\pm$ 1275,26	
T11		90	94,3 $\pm$ 0,58	5605,77 $\pm$ 388,02	
T12		120	91,0 $\pm$ 3,61	5789,18 $\pm$ 931,22	
T13	18	30	93,0 $\pm$ 0,00	5857,76 $\pm$ 1041,4	
T14		60	92,0 $\pm$ 2,65	6175,90 $\pm$ 246,76	
T15		90	92,3 $\pm$ 2,52	5276,76 $\pm$ 933,38	
T16		120	96,3 $\pm$ 1,53	6383,71 $\pm$ 307,42	

No hubo un efecto tóxico, cuando los niveles de este elemento son muy altos en las plantas se incrementa la formación de radicales de oxígeno que son fitotóxicos (Dobermann & Fairhurst, 2001).

Por ejemplo en lechuga los resultados arrojaron porcentajes de germinación de 28% al manejar dosis altas de Fe (15 y 20 mg/L)

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## EVALUACIÓN DE LA LONGITUD RAÍZ EN RIZOTRONES

**Tabla 3.** Promedio  $\pm$  desviación estándar de la longitud de la raíz (cm) en plántulas de maíz dulce var. Bandit

Trat	Longitud de raíz (cm)			
	7dds	11dds	15dds	19dds
T1	3,27 $\pm$ 0,33 e	11,38 $\pm$ 1,11 abcde	18,1 $\pm$ 0,86 abcd	26,99 $\pm$ 3,86 abcde
T2	3,41 $\pm$ 0,23 e	7,76 $\pm$ 0,95 cde	15,55 $\pm$ 2,04 bcdefg	24,80 $\pm$ 1,27 de
T3	5,26 $\pm$ 1,32 abcde	7,06 $\pm$ 0,24 de	11,92 $\pm$ 1,51 e	25,26 $\pm$ 0,38 cde
T4	3,66 $\pm$ 1,22 de	6,81 $\pm$ 0,91 e	13,75 $\pm$ 1,85 efg	25,69 $\pm$ 3,83 bcde
T5	4,36 $\pm$ 2,20 bcde	9,08 $\pm$ 3,89 abcde	14,91 $\pm$ 1,51 defg	24,72 $\pm$ 1,22 de
T6	6,34 $\pm$ 0,82 abcd	11,63 $\pm$ 1,23 abcde	17 $\pm$ 0,28 abcdefg	26,09 $\pm$ 0,32 abcde
T7	4,30 $\pm$ 3,34 cde	7,43 $\pm$ 1,99 de	15,37 $\pm$ 0,72 defg	23,89 $\pm$ 0,79 e
T8	5,10 $\pm$ 1,00 abcde	11,54 $\pm$ 0,12 abcd	19,63 $\pm$ 1,46 abc	27,00 $\pm$ 2,96 abcde
T9	6,56 $\pm$ 0,78 abc	12 $\pm$ 0,35 a	22 $\pm$ 0,48 a	30,41 $\pm$ 0,87 abcd
T10	6,03 $\pm$ 2,41 abcde	9,07 $\pm$ 1,25 abcde	12,78 $\pm$ 2,76 fg	21,82 $\pm$ 2,98 e
T11	5,06 $\pm$ 0,66 abcde	11,99 $\pm$ 0,69 ab	15,73 $\pm$ 0,72 cdefg	27,64 $\pm$ 2,96 abcde
T12	4,60 $\pm$ 1,61 bcde	11,60 $\pm$ 2,25 abc	20,17 $\pm$ 1,9 ab	25,82 $\pm$ 3,67 cde
T13	7,57 $\pm$ 0,39 a	11,88 $\pm$ 0,41 ab	18,76 $\pm$ 0,62 abcd	29,14 $\pm$ 0,85 abcd
T14	7,16 $\pm$ 0,24 ab	11,81 $\pm$ 0,6 abc	19,33 $\pm$ 0,4 ab	32,97 $\pm$ 0,76 a
T15	4,09 $\pm$ 0,63 cde	8,58 $\pm$ 1,56 bcde	18,27 $\pm$ 3,69 abcdef	31,38 $\pm$ 2,34 abc
T16	5,61 $\pm$ 1,24 abcde	11,29 $\pm$ 0,49 abcde	17,83 $\pm$ 0,53 abcde	32,00 $\pm$ 2,16 ab
H	26,11	27,15	38,73	31,04
P-valor	0,0369	0,0275	0,0005	0,0087

Nota. Medias  $\pm$  desviación estándar con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ( $p < 0,05$ ), H=Estadístico de la prueba no paramétrica *kruskal-Wallis*,

El Fe<sup>2+</sup> acelera la división celular en el sistema radicular aislado totalmente oscuro e incrementa el contenido de clorofila (Burstrom, 1960).

Glasstone, (1947), muestra que tratamientos reforzados con 0.35 mg.Kg<sup>-1</sup> de Fe mostraron un efecto positivo en el crecimiento de raíces en el cultivo de tomate riñón

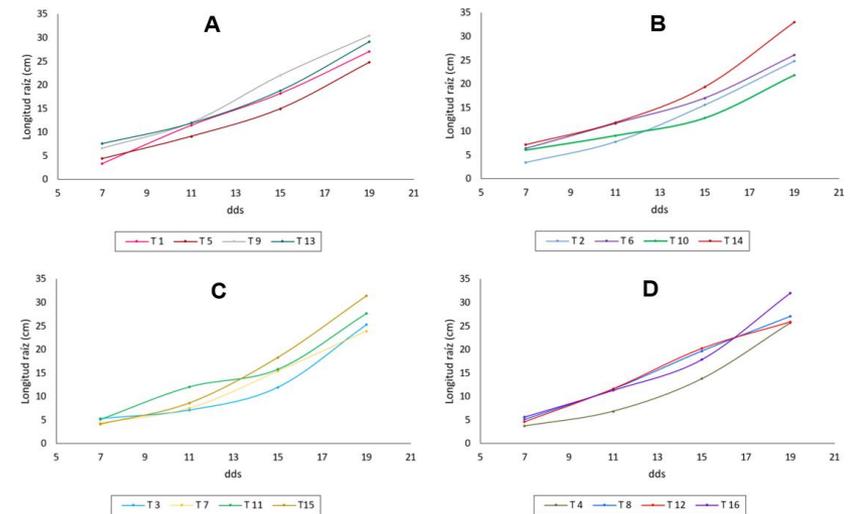
# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## VELOCIDAD DE CRECIMIENTO RADICULAR EN RIZOTRONES

**Tabla 4.** Velocidad de crecimiento radicular en semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit., bajo el efecto de 4 dosis de Fe y 4 tiempos de remojo

Tratamiento	Dosis de Fe (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Tiempo (minutos)	Velocidad de crecimiento	
T1	0	30	1,98±0,31	abc
T2		60	1,78±0,1	abcd
T3		90	1,67±0,08	cd
T4		120	1,84±0,39	abc
T5	6	30	1,70±0,09	bcd
T6		60	1,65±0,04	cd
T7		90	1,63±0,22	cd
T8		120	1,83±0,22	abcd
T9	12	30	1,99±0,02	abc
T10		60	1,32±0,10	d
T11		90	1,88±0,34	abc
T12		120	1,77±0,20	bcd
T13	18	30	1,80±0,10	abcd
T14		60	2,15±0,06	ab
T15		90	2,27±0,15	a
T16		120	2,2±0,09	a

**Figura 1.** Longitud de la raíz de plántulas de semillas de maíz dulce (*Zea mays L.*) var. Bandit., medidas durante 19 dds en rizotrones.

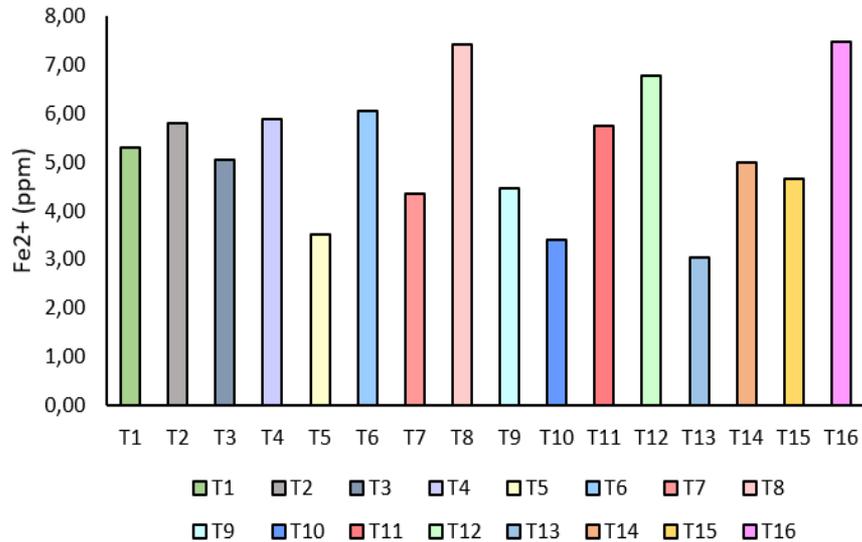


Nota. Medias ± desviación estándar con la misma letra denota que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (p<0,05)

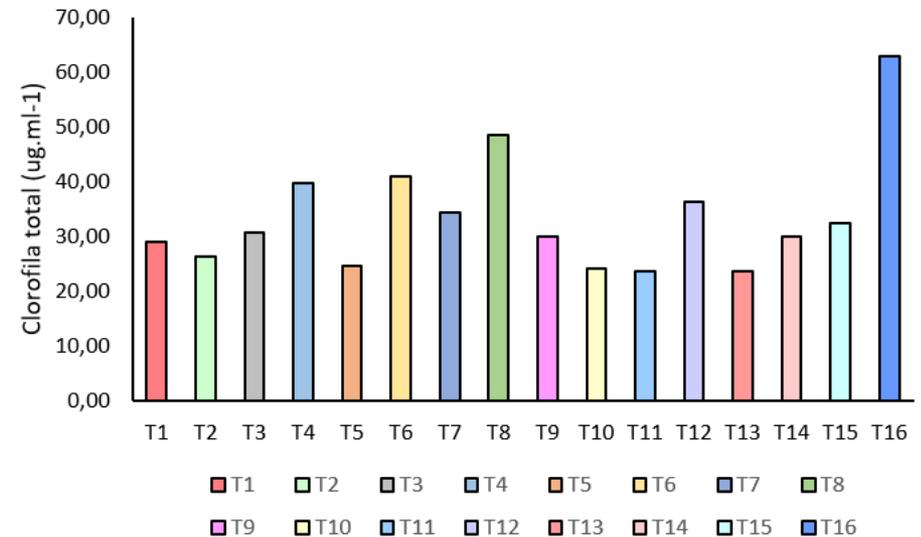
# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## CONCENTRACIÓN DE $Fe^{2+}$ Y CONTENIDO DE CLOROFILA

**Figura 2.** Concentración de hierro biodisponible ( $Fe^{2+}$ ) en hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit.



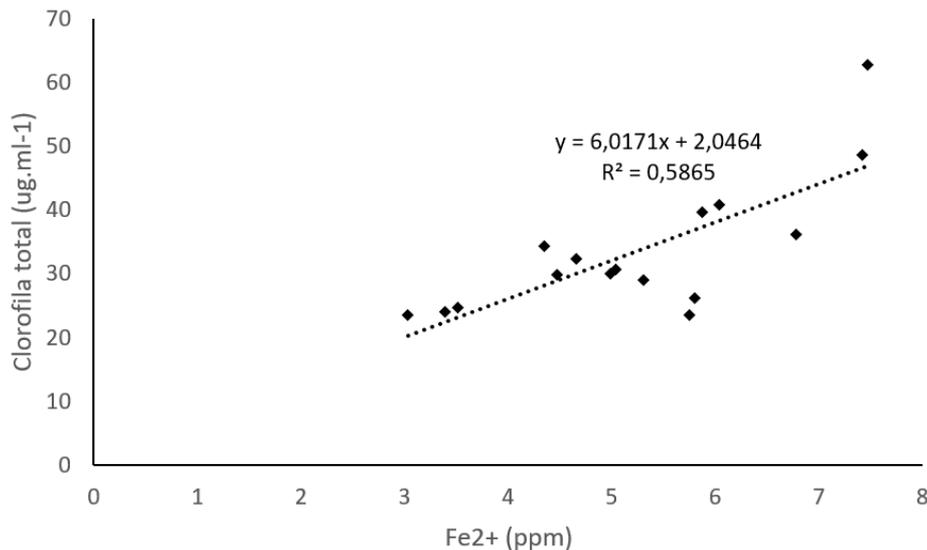
**Figura 3.** Concentración de clorofila total en hojas de plántulas de maíz dulce var. Bandit



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## CONCENTRACIÓN DE Fe<sup>2+</sup> Y CONTENIDO DE CLOROFILA

**Figura 4.** *Relación entre la concentración de hierro en las hojas y el contenido total de clorofila en plántulas de maíz dulce var. Bandit.*



Boukari et al., (2019) se redujo la concentración de clorofila y por ende la tasa de fotosíntesis al presentarse una deficiencia de hierro en el cultivo de alfalfa.

El hierro influye en la formación ácido  $\delta$ -aminolevulínico (precursor de la biosíntesis de porfirina) y protoclorofilida en la síntesis de la clorofila.

# CONCLUSIONES

La germinación y el índice de vigor no tuvieron un efecto significativo entre las diferentes dosis de Fe y los tiempos de remojo.

Las dosis de Fe no fueron lo suficientemente distantes para optimizar su efecto, sin embargo no provocaron efectos adversos en las semillas de maíz dulce var. Bandit.

Las dosis que presentaron mayor longitud de la raíz fueron aquellas plántulas tratadas con las dosis más altas del experimento 12 mg.Kg<sup>-1</sup> y 18 mg.Kg<sup>-1</sup> de Fe, T13 (18 mg.Kg<sup>-1</sup> de Fe, 30 minutos de remojo) 7,57 cm a los 7 dds, T9 (12 mg.Kg<sup>-1</sup> de Fe, 30 minutos de remojo) 12 cm y 22 cm en los días 11 y 15 dds respectivamente y 32,97 cm de longitud en T14 (18 mg.Kg<sup>-1</sup> de Fe, 60 minutos de remojo) en el día 19dds. Por otro lado se evidencio que las plántulas cuyas semillas fueron tratadas con las dosis más bajas de Fe tuvieron longitudes de raíces menores.

# CONCLUSIONES

Las plántulas cuyas semillas estuvieron sumergidas en soluciones con una concentración de  $18 \text{ mg.Kg}^{-1}$  durante 90 y 120 minutos tuvieron un desarrollo radicular más acelerado 2,27 y 2,2 cm por día respectivamente en comparación con la longitud de plántulas tratadas durante 60 minutos a una concentración de  $12 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de Fe 1,32 cm por día.

La mayor concentración de clorofila en las plántulas de maíz dulce fue con la aplicación del T16 ( $18 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de Fe, tiempo de remojo de 120 min)  $62,86 \text{ ug.ml}^{-1}$ .

Las plántulas de maíz dulce var. Bandit que presentaron mayor concentración de  $\text{Fe}^{2+}$   $7,47 \text{ mg.Kg}^{-1}$  fueron las resultantes de las semillas que estuvieron sometidas a una concentración de  $18 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de hierro durante 120 minutos hasta los 25 días después de la siembra.

El contenido de  $\text{Fe}^{2+}$  y de clorofila total en plántulas de maíz dulce (*Zea mays*) var Bandit presentaron una correlación con tendencia positiva, es decir si el hierro aumenta también lo hará el contenido de clorofila.

# RECOMENDACIONES

Utilizar la impregnación de semillas manejando una dosis de  $18 \text{ mg.Kg}^{-1}$  de Fe y tiempo de remojo de 120 min en experimentos basados en el estudio del sistema radicular.

Se recomienda realizar más estudios sobre la impregnación de hierro en semillas y su interacción con otros elementos como el nitrógeno y el zinc.

Realizar estudios con la impregnación de Fe con el fin de hacer un seguimiento de la movilidad del elemento en las diferentes etapas de la planta

La deficiencia más persistente en la nutrición de las personas es la férrica, por lo que se recomienda investigar si la impregnación de Fe incrementa los valores de este nutriente en el fruto principalmente de cereales como el trigo, maíz, arroz, ya que son los cultivos más consumidos a nivel mundial.

# AGRADECIMIENTOS



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



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

*¡Muchas Gracias  
por tu atención!*



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