

## **Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con zinc: efecto en el rendimiento y contenido mineral**

Verónica Estrada-Domínguez<sup>1</sup>

César Márquez-Quiroz<sup>1</sup>

Efraín de la Cruz-Lázaro<sup>1§</sup>

Rodolfo Osorio-Osorio<sup>1</sup>

Esteban Sánchez-Chávez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Agropecuarias-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, R/a La Huasteca 2<sup>da</sup> sección, Villahermosa, Tabasco, México. CP. 86298,

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC-Unidad Delicias. Delicias, Chihuahua. México.

§Autor para correspondencia: efrain.delacruz@ujat.mx.

### **Resumen**

El zinc es un elemento esencial en los sistemas biológicos, que se requiere en pequeñas cantidades. El objetivo, fue conocer el efecto de la aplicación foliar de las dosis de 0, 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de quelato (Zn-EDTA) y sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>) en el rendimiento y contenido mineral de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.). En planta se contabilizaron los días a floración, peso de grano, número de vainas y número de granos por planta, además del peso de 100 granos, mientras que en los granos se determinó el contenido de proteína cruda total, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, boro, manganeso, cobre y molibdeno. Con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA se incrementó el rendimiento de grano por planta con respecto al testigo en un 53.29, 41.58 y 38.42%, respectivamente, mientras que con las mismas dosis de ZnSO<sub>4</sub> el incremento fue de 27.8, 32.09 y 16.83%, respectivamente. Los mayores contenidos de nitrógeno, proteína cruda, fósforo, potasio, calcio, hierro, manganeso y cobre se tuvieron con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA. Mientras que los mayores contenidos de zinc, boro, molibdeno y magnesio se tuvieron con las dosis de ZnSO<sub>4</sub>, observándose que el contenido de zinc incrementa de forma proporcional con el incremento de la dosis. La adición de diferentes dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> para la biofortificación del frijol caupí, tiene efecto en el rendimiento de grano, contenido de proteína cruda y contenido mineral.

**Palabras clave:** dosis, leguminosas, proteína, quelatos, sulfatos.

Recibido: febrero de 2018

Aceptado: marzo de 2018

## Introducción

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) es una fuente importante de alimento en los trópicos y subtropicos, aporta adecuados contenidos de proteína, fibra dietética, carbohidratos, vitaminas y fitoquímicos (Devi *et al.*, 2015). Del frijol caupí se consumen los granos secos, vainas verdes, puntas en crecimiento y la planta completa se usa como forraje (Márquez-Quiroz *et al.*, 2015). Por lo que es una fuente importante de alimento para la población rural de los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Tamaulipas (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; Apáez-Barrios *et al.*, 2011).

El zinc es un micronutriente esencial en los sistemas biológicos, que se requiere en pequeñas cantidades. Se encuentra involucrado en la formación y activación de enzimas que impactan en el crecimiento, desarrollo y la producción de las plantas (Poblaciones y Rengel, 2016). Su deficiencia impacta en el crecimiento, viabilidad del polen, floración y producción de granos (Pandey *et al.*, 2006). En los humanos su deficiencia se asocia con problemas de crecimiento y la capacidad de aprendizaje en niños, e incrementa el riesgo de infecciones, cáncer y daños al ADN (Ahmed *et al.*, 2014). Está presente en alrededor de un tercio de la población mundial, lo que representa el quinto factor de riesgo de enfermedades en los países en desarrollo (Shahzad *et al.*, 2014).

La biofortificación es el proceso agronómico por el que se incrementa el contenido de elementos y microelementos en las partes comestibles de las plantas cultivadas, los cuales se aplican de forma foliar o edáfica (Guillen-Molina *et al.*, 2016). Al respecto Prasad *et al.* (2015) mencionan que el éxito de la biofortificación depende de la movilidad del elemento en el suelo y la planta, el zinc, es uno de los microelementos más adecuados para la biofortificación, presentando su mayor absorción cuando se aplica de forma foliar como ZnSO<sub>4</sub>. Mientras que Cakmak *et al.* (2010) reportan que el método más eficaz para incrementar el contenido de zinc en el grano de trigo es la aplicación edáfica y foliar al mismo tiempo.

En repollo (*Brassica oleracea* cv. Bronco) se reporta que la aplicación de dosis entre 80 y 100 µM de Zn incrementan la concentración de zinc en la parte comestible de la planta (Barrameda-Medina *et al.*, 2017). Mientras que Sida-Arreola *et al.* (2015b) reportan que con dosis de 50 µM de sulfato de zinc se tiene el mayor crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris*.

En lo referente al frijol caupí se reporta que el contenido de zinc en el grano es bajo, en especial al sembrarse en suelos con deficiencias de elementos (Morales-Morales *et al.*, 2016). Mientras que Guillen-Molina *et al.* (2016) reportan que se incrementa el contenido de zinc en el grano de frijol caupí cuando se biofortifica con quelato de Zn de forma edáfica. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis de quelato de zinc (Zn-EDTA) y sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>) en el rendimiento y contenido mineral del frijol caupí (*V. unguiculata* L.).

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el área de viveros e invernaderos de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Centro, Tabasco, México a 17° 46' 56" de longitud norte y 92° 57' 28" de latitud oeste, a una altitud de 21 m. Se utilizó una estructura protegida tipo Megavent tropical de 200 m<sup>2</sup>, con cubierta lateral de malla antiáfidos y malla Grown Cover para impedir el crecimiento de malezas.

### Establecimiento del cultivo

La siembra de frijol caupí (*V. unguiculata* L.) cv. De Castilla, se realizó el 23 de septiembre de 2016. Para tener uniformidad en la germinación, las semillas se sumergieron en agua por una hora, para luego sembrarlas en bolsas de polietileno negro de 30 cm de ancho por 35 cm de alto, que se llenaron con piedra blanca porosa de origen volcánico (tepetzil). La densidad de siembra fue de 44 444 plantas por hectárea.

### Fertilización y tratamientos

La fertilización se realizó con la solución nutritiva de Hoagland y Arnon (1950) que contiene 14 mM de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 mM de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 4 mM de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 6 mM de K<sup>+</sup>, 8 mM de Ca<sup>2+</sup> y 4 mM de Mg<sup>2+</sup>. Para suministrar los microelementos se utilizó el producto TradeCorp AZ<sup>®</sup> que contiene hierro-EDTA 7.5% p/p, manganeso-EDTA 3.4% p/p, zinc-EDTA 0.7% p/p, boro 0.68% p/p, cobre-EDTA 0.28% p/p y molibdeno 0.26% p/p. El pH se ajustó a 6 y la conductividad eléctrica a 2 dS m<sup>-1</sup>. La solución nutritiva se aplicó de forma manual, aportando 250 ml de la solución nutritiva al 50% los primeros 20 días después de la siembra (dds), e incrementando a 1 000 ml de la solución nutritiva al 100% del día 21 hasta los 90 dds.

Para lavar el exceso de sales se aplicó un riego de 1 500 ml de agua cada ocho días. El agua de riego utilizada se clasificó como C1S1 de acuerdo con el U.S. Laboratory Salinity (Wilcox, 1955), lo que indica que tiene baja salinidad y contenido de sodio, con C.E: 1.3 dS m<sup>-1</sup>, pH: 7, cationes (mM L<sup>-1</sup>): Ca<sup>2+</sup>= 4.6; Mg<sup>2+</sup>= 13; K<sup>+</sup>= 0.2; Na<sup>+</sup>= 3 y aniones (Mm<sup>-1</sup>): HCO<sub>3</sub><sup>3-</sup>=4.6; Cl<sup>-</sup>= 4 y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>= 0.

Los tratamientos evaluados fueron las dosis de 0, 7, 14 y 28 mM de quelato de zinc (EDTA 14% p/p (Na<sub>2</sub>Zn-EDTA) y sulfato de zinc heptahidratado (ZnSO<sub>4</sub>7H<sub>2</sub>O). Con lo que se obtuvieron ocho tratamientos, que se evaluaron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos se asperjaron al follaje de las plantas con un aspersor de 50 mL, la primera aplicación se realizó a los 21 dds, aplicando 25 mL de la dosis, mientras que en las aplicaciones realizadas a los 36, 51, 66 y 81 dds se aplicaron 50 mL por planta.

## Manejo y control fitosanitario

Las plantas se guiaron y separaron de forma vertical unas de otras con tutores de hilo de rafia. Para el control de atracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) que se presentó a los 50 dds, se aplicó Sulfacob 25<sup>®</sup> a dosis de 3 kg ha<sup>-1</sup>.

## Variables agronómicas evaluadas

Se evaluó el rendimiento de grano por planta a los 90 dds, se sumó el peso de grano de todas las vainas cosechadas por planta, días a floración, el número de días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de la primeras flores; número de vainas por planta, el número de vainas maduras que se cosecharon a los 90 dds, número de granos por planta, la sumatoria de todos los granos cosechados por planta y peso de 100 granos, tomando 100 granos al azar para luego pesarlos en una balanza granataria (Ohaus Scout<sup>®</sup> Pro) modelo H-2710 con precisión de  $\pm 0.1$  g.

## Análisis del contenido mineral

La determinación del contenido mineral se realizó en los granos secos de la tercera y cuarta vaina de las plantas cosechadas en cada tratamiento, los cuales se molieron en un molino marca Krups Modelo GX4100. La determinación del contenido nitrógeno (N) total se realizó por el método Micro-Kjeldahl; para determinar el contenido de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), Manganeso (Mn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) se mineralizó 1 g de muestra por digestión triácida de cada tratamiento. El P, se determinó por el método colorimétrico de metavanadato de amonio, y el K, Ca, Mg, Fe, Zn, Bo, Mn, Cu y Mo se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Thermo Scientific<sup>™</sup> (iCE<sup>™</sup> 3000 series AAS).

## Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron bajo un diseño completamente al azar. Con las medias obtenidas se realizó la prueba de contrastes ortogonales, todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS 9.4 para Windows (SAS, 2013).

## Resultados y discusión

La floración en las plantas biofortificadas con las diferentes dosis Zn-EDTA ocurrió entre los 46 y 51 dds, mientras que las plantas biofortificadas con las dosis de ZnSO<sub>4</sub> florecieron entre los 46.3 y 51.7 dds, mientras que el análisis de contrastes ortogonales detectó diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre la dosis de 7 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> y las dosis con 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> (Cuadro 1). Debido a que la floración en todas las dosis (tratamientos) ocurrió después de los 45 dds, se considera tardía (Manggoel y Uguru 2012). Las diferentes dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, disminuyeron los días a floración, presentando mayor precocidad las plantas tratadas con 7 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA o ZnSO<sub>4</sub>. Para peso de grano por planta se encontraron valores entre 22.2 y 34.03 g por planta para las dosis de Zn-EDTA, en tanto que las dosis de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron pesos de grano entre 20.97 y 24.5 g, con diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) en el contraste del tratamiento testigo (0 mM L<sup>-1</sup>) y las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>.

**Cuadro 1. Días a floración, rendimiento y componentes del rendimiento en frijol caupí (*V. unguiculata* L.) biofortificado con diferentes dosis de quelato y sulfato de zinc.**

Tratamientos	Días a floración	Peso de grano por planta (g)	Núm. de vainas por planta	Núm. de granos por planta	Peso de 100 granos (g)
1) 0 mM L <sup>-1</sup> Zn-EDTA	51 ±1	22.2 ±3.57	14.33 ±2.08	163.67 ±13.58	12.92 ±1.56
2) 7 mM L <sup>-1</sup> Zn-EDTA	46 ±1	34.03 ±4.46	25.67 ±6.43	170.33 ±11.85	16.57±0.12
3) 14 mM L <sup>-1</sup> Zn-EDTA	46.3 ±1.2	31.43 ±6.24	24.67 ±8.08	168.33 ±7.64	13.82 ±1.55
4) 28 mM L <sup>-1</sup> Zn-EDTA	49.7 ±1	30.73 ±0.06	22.67 ±2.52	181.33 ±1.53	15.4 ±0.25
5) 0 mM L <sup>-1</sup> ZnSO <sub>4</sub>	51.7 ±1.5	20.97 ±2.11	15.33 ±3.51	164.67 ±4.73	12.5 ±1.6
6) 7 mM L <sup>-1</sup> ZnSO <sub>4</sub>	46.3 ±0.6	26.8 ±1.23	18.67 ±2.08	177.67 ±9.24	14.39 ±0.5
7) 14 mM L <sup>-1</sup> ZnSO <sub>4</sub>	46 ±1.7	27.7 ±3.84	19.67 ±2.31	172.67 ±8.08	12.9 ±2.63
8) 28 mM L <sup>-1</sup> ZnSO <sub>4</sub>	48.3 ±2.9	24.5 ±1.74	16.33 ±1.41	146.33 ±7.37	13.1 ±0.68
Contrastes ortogonales					
1 vs 2+3+4	0.804	0.051	0.044*	0.529	0.001**
2 vs 3+4	0.86	0.317	0.139	0.111	0.076
3 vs 4	0.761	0.246	0.073	0.387	0.051
5 vs 6+7+8	0.159	0.008**	0.005**	<.001**	0.003**
6 vs 7+8	0.009**	0.36	0.655	0.003**	0.926
7 vs 8	0.607	0.618	0.968	0.355	0.362

\* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ ).

Estos rendimientos son mayores a 7 g reportados por Apáez-Barrios *et al.* (2011) y 13 g de grano por planta que obtienen los productores locales (SIAP, 2013); pero son iguales a los pesos promedio de grano reportados por Márquez-Quiroz *et al.* (2015) para frijol caupí biofortificado. El mayor rendimiento de los tratamientos con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA o ZnSO<sub>4</sub>, coincide con Quddus *et al.* (2011) donde el rendimiento incrementa al aumentar la dosis de zinc.

El número de vainas por planta osciló entre las 14.33 y 25.67 para las diferentes dosis de Zn-EDTA, y de 15.33 a 19.67 para las dosis de ZnSO<sub>4</sub>. Estos valores son superiores a las 8.75 vainas obtenidas por Guillen-Molina *et al.* (2016) para frijol caupí biofortificado con zinc. Las diferencias se pueden deber a la época del año en que se sembraron los experimentos, ya que el presente trabajo se sembró en el ciclo otoño invierno, mientras que el trabajo de Guillen-Molina *et al.* (2016) se sembró en el ciclo primavera-verano, con temperaturas promedios mayores a las que se presentaron en el presente trabajo. Sobre el efecto de la temperatura en la floración del frijol caupí se sabe que es sensible a las altas temperaturas en la etapa reproductiva, lo que ocasiona aborto de flores y disminución del rendimiento (Hanumantha *et al.*, 2016).

El número de granos por planta osciló entre 163.67 y 181.33 granos para las dosis de Zn-EDTA, y de 164.67 a 177.33 granos para las dosis de ZnSO<sub>4</sub>. Para el peso de 100 granos se encontraron valores entre 12.92 y 16.67 g para las diferentes dosis de Zn-EDTA, mientras que las dosis de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron pesos de 100 granos entre 12.5 y 14.39 g. Observándose diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre las dosis testigos y las diferentes dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> (Cuadro 1). En promedio las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA tuvieron un 28.25, 6.97 y 19.20% mayor peso de 100 granos que el testigo (0 mM L<sup>-1</sup>), mientras que las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron incrementos del peso de 100 granos de 15.12, 3.2 y 4.8% con respecto al testigo.

En los tratamientos con Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> sobresalen la dosis de 7 mM L<sup>-1</sup> con el mayor peso promedio de 100 granos. En general los pesos de 100 granos de todos los tratamientos son superiores a los 12 y 12.4 g reportados por Lagunes-Espinoza *et al.* (2008); Apáez-Barrios *et al.* (2011), pero de acuerdo con Márquez-Quiroz *et al.* (2015) sólo las dosis con 7 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA tuvieron los pesos superiores de 100 granos de frijol caupí biofortificado.

Las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> disminuyeron los días a floración, e incrementaron el peso de grano, número de vainas por planta, número de granos por planta y el peso de 100 de granos, lo que indica que las diferentes dosis Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> incrementan la producción de biomasa y grano en las plantas de frijol caupí, lo que coincide con Ratto y Miguez (2005) y Quddus *et al.* (2011) quienes indican que la materia seca total y el rendimiento incrementa en las plantas biofortificadas con zinc, mientras que Sida-Arreola *et al.* (2015a) y Ibrahim y Ramadan (2015) indican que la aplicación de la dosis adecuada de Zn incrementa la biomasa y el rendimiento.

El contenido de nitrógeno (N) total osciló entre 4.14 y 4.38% para las dosis de Zn-EDTA, mientras que para las dosis de ZnSO<sub>4</sub> fue de 4.15 a 4.32% (Figura 1B). Estos valores son superiores a los reportados por Márquez-Quiroz *et al.* (2015) y Guillen-Molina *et al.* (2016). De acuerdo con el factor de 5.45 para convertir el contenido de nitrógeno en proteína cruda de *V. unguiculata* L. (Muranaka *et al.*, 2016), el contenido de proteína osciló entre 22.56 y 23.87% para las diferentes dosis de Zn-EDTA y de 22.62 a 23.54% para las dosis de ZnSO<sub>4</sub> (Figura 1A); presentando los mayores contenidos de proteína cruda total las dosis de 14 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> (23.89%) y Zn-EDTA (23.54%). Estos contenidos de proteína cruda son superiores al 20.3% reportado por Guillen-Molina *et al.* (2016) y al 22% de proteína reportado por Márquez-Quiroz *et al.* (2015) para frijol caupí biofortificado.

Pero son bajos con respecto al valor máximo del rango de proteína cruda total de 21 a 30.7% reportado para *V. unguiculata* (Timko y Singh, 2008). Los mayores contenidos de proteína cruda total se tuvieron con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA (23.82 y 23.87%) y ZnSO<sub>4</sub> (23.05 y 23.54%), disminuyendo el contenido de proteína cruda en 4.28% en la dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y 4.06% en la dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>. Lo que se puede deber a que mayores dosis de Zn causan estrés oxidativo a la planta, que incrementa la producción de especies activas de oxígeno, lo que daña los componentes celulares y la producción de proteínas (Muhammad *et al.*, 2016).

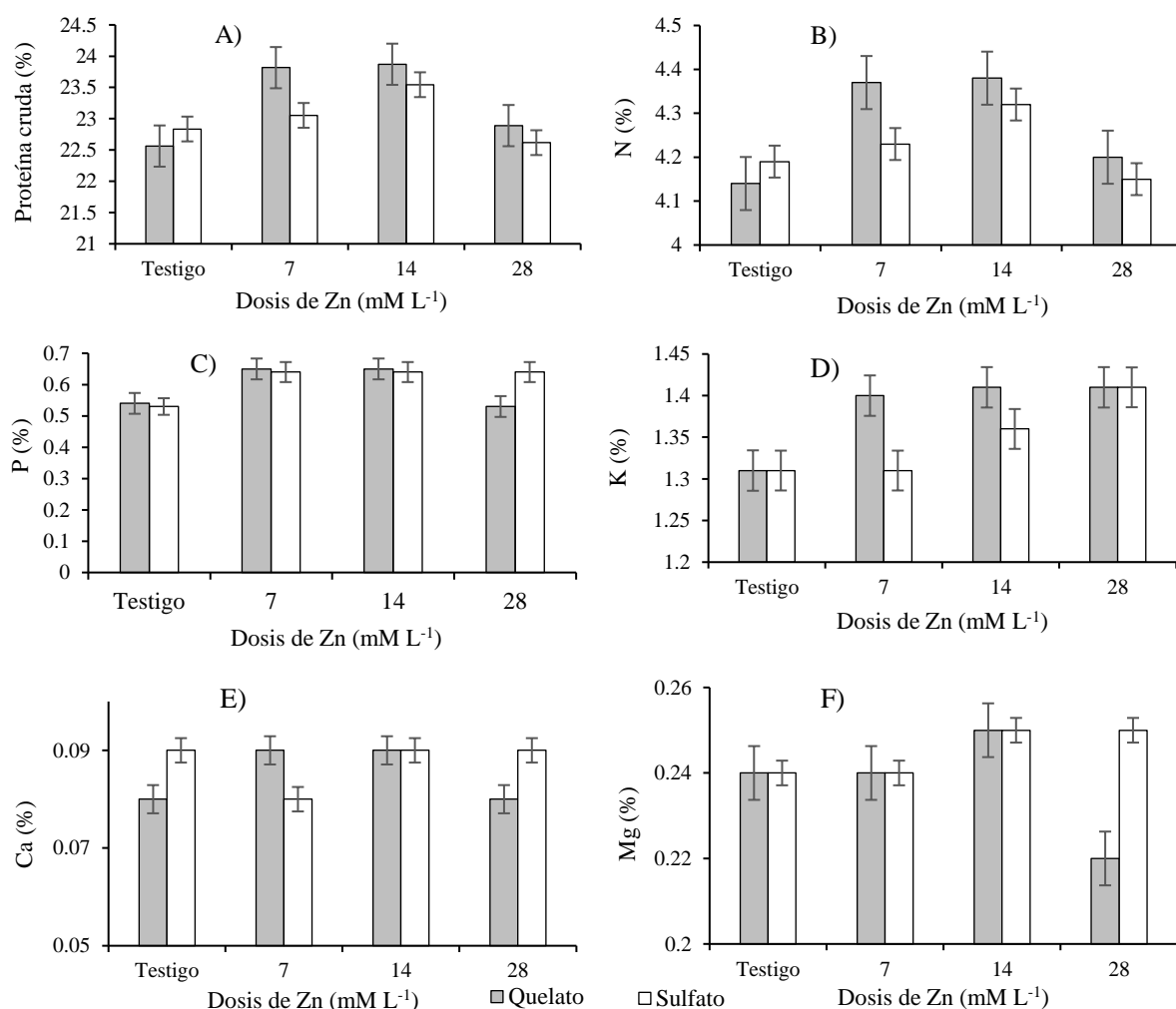
También se puede deber al problema de toxicidad que se presentó con la aplicación de las dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub> a los 21 dds, manifestándose con problemas de necrosis de hojas y menor crecimiento de las plantas. Con las dosis de 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub> se tuvo el mayor contenido de nitrógeno y proteína cruda total (Figura 1A) y los menores rendimientos de grano por planta (Cuadro 1), lo que se puede deber a la correlación negativa que tiene el contenido de nitrógeno con el rendimiento de grano (Olunike, 2014).

Al comparar el contenido de fósforo (P) del testigo con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA se observan incrementos de 18.46, 18.46 y 1.85%, respectivamente; mientras que las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron incrementos de 20.75, 20.75 y 18.86%, respectivamente (Figura 1C). Se tuvo una ligera disminución del fósforo con las dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub>, lo que indica que con las dosis utilizadas de zinc no se llegó al límite máximo para observar la disminución pronunciada del fósforo que reporta Cakmak *et al.* (2010). Para el contenido de



potasio (K) se encontró que, con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA se incrementó en un 6.87, 7.63 y 7.63%, respectivamente, el contenido de potasio; mientras que las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> el contenido de potasio incrementó en un 0, 3.82 y 7.63%, respectivamente (Figura 1D).

Los contenidos de potasio encontrados en todas las dosis se encuentran dentro de los contenidos reportados para frijol caupí (Frota *et al.*, 2008; Márquez-Quiroz *et al.*, 2015). En lo que respecta, al contenido de calcio (Ca) se encontraron valores entre 0.08 y 0.9% en las diferentes dosis de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub> (Figura 1E), con incrementos del contenido de calcio con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA del 12.50%, mientras que con el ZnSO<sub>4</sub> se observó la disminución del contenido de calcio con la dosis de 28 mM L<sup>-1</sup>. Para el contenido de magnesio (Mg) se encontraron valores entre 0.22 y 0.25% con las dosis de Zn-EDTA y de 0.24 y 0.25% con las dosis de ZnSO<sub>4</sub> (Figura 1F), observándose que con la dosis de 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub> se tienen los mayores contenidos de Mg, mientras que con la dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> se tiene una disminución del 8.33% con respecto al testigo.



**Figura 1.** Contenido de proteína cruda total (A), nitrógeno (B), fósforo (C), potasio (D), calcio (E) y magnesio (F) en la semilla de frijol caupí (*V. unguiculata* L.) biofortificadas con diferentes dosis de quelato y sulfato de zinc.

El incremento de los contenidos de minerales con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, indican la influencia de la biofortificación con zinc en el contenido mineral de los granos de frijol caupí (Guillen-Molina *et al.*, 2016). Para el contenido de proteína cruda y los macroelementos, se encontró que los mayores contenidos se tienen con dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub>, pero con tendencia a presentar los mayores valores las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA, lo que se puede deber a la mayor asimilación de los fertilizantes quelatados y que algunos elementos se caracterizan por estar dentro de la planta en forma quelatada (Sánchez, 1984).

Para el contenido de hierro (Fe) se observó que con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA se tuvieron incrementos del 11.14 y 9.19% del hierro, respectivamente; mientras que con las dosis de ZnSO<sub>4</sub>, sólo con 7 mM L<sup>-1</sup> se tuvo un incremento de 0.71% del hierro. En tanto, que con las dosis de 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, el contenido de hierro disminuye 4.37 y 14.61% (Figura 2A). Efectos similares se han observado en *V. unguiculata*, con reportes que indican que dosis mayores de 15 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> disminuye 31.10% el contenido de hierro (Morales-Morales *et al.*, 2016). En general el contenido de hierro se encuentra dentro del rango de 48 a 79 ppm reportado para *V. unguiculata* (Timko y Singh, 2008). Para el contenido de zinc se tuvieron incrementos de 5.81, 8.98 y 2.11% con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA, mientras que las dosis de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron incrementos del 11.28, 19.99 y 23.61%, respectivamente (Figura 2B).

Los mayores contenidos de zinc encontrados en el presente trabajo con respecto a lo reportado por Timko y Singh (2008) y Guillen-Molina *et al.* (2016), se puede deber a que la aplicación foliar de zinc es más efectiva que la aplicación edáfica, para incrementar su contenido en el grano (Yue-Qiang *et al.*, 2012). Los mayores contenidos de zinc en los granos biofortificados con las dosis de ZnSO<sub>4</sub>, se puede deber a que la biofortificación con ZnSO<sub>4</sub> de forma foliar es más efectiva para incrementar el contenido de zinc en el grano, que la realizada con Zn-EDTA (Prasad *et al.*, 2015). El aumento del Zn y la disminución de Fe, con el incremento de la dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, se debe al efecto antagónico que hay entre el Zn y el Fe (Fasaei y Ronaghi, 2015).

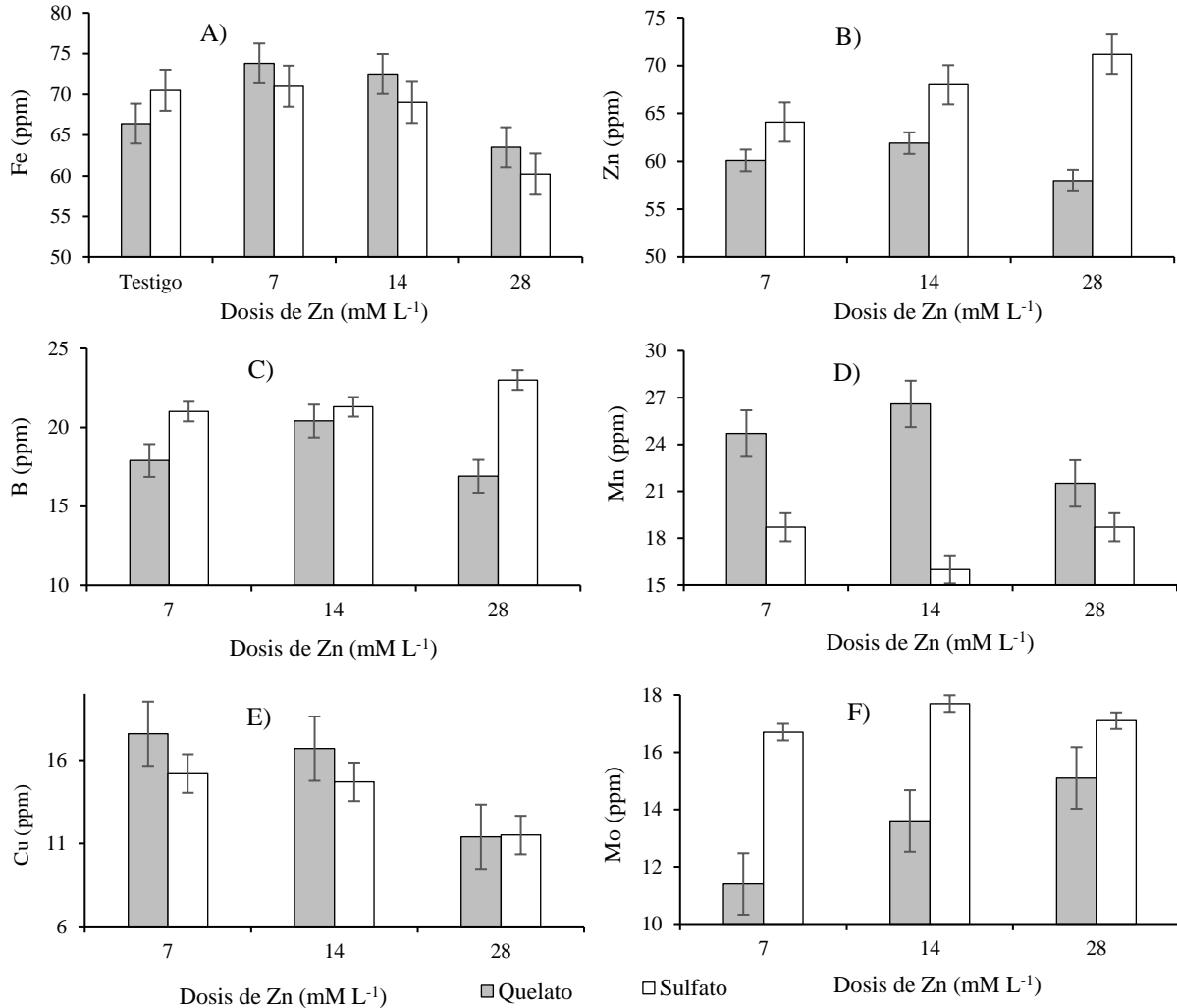
Al respecto Shekari *et al.* (2015) reportan que el incremento de la dosis de Zn, disminuyó el contenido de Fe en el grano de trigo. Con las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> y con 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA se tuvieron 64.1, 68, 71.2 y 61.9 ppm, valores que son superiores a las 61 ppm establecidas como nivel crítico de zinc en las plantas, para tener un estado de suficiencia de zinc en la nutrición humana (Huett *et al.*, 1997).

El contenido de boro fue de 16.90 a 21.10 ppm para las dosis de Zn-EDTA, mientras que para las dosis de ZnSO<sub>4</sub> el contenido de boro fue de 20.60 a 23 ppm (Figura 2C). Para las diferentes dosis de Zn-EDTA se observa que el testigo (0 mM L<sup>-1</sup>) tuvo el mayor contenido de boro, en tanto que las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> disminuyen 15.17, 3.32 y 19.91% el contenido de boro. En tanto que las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> incrementaron 1.94, 3.99 y 11.65% el contenido de boro. Para el contenido de manganeso se encontraron valores entre 20.30 y 26.70 ppm para las dosis de Zn-EDTA, mientras que en las dosis de ZnSO<sub>4</sub> el contenido fue del 18.70 a 19.40 (Figura 2D).

El contenido de cobre osciló entre 10.90 y 17.60 ppm para las diferentes dosis de Zn-EDTA, y de 9.84 a 15.2 ppm para las dosis de ZnSO<sub>4</sub> (Figura 2E), con incrementos de 61.47, 53.21 y 4.59% en las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA, en tanto que, en las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> el incremento fue del 54.47, 49.39 y 16.87%. En general se observa que el contenido de



cobre incrementa con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA y de ZnSO<sub>4</sub>, pero disminuye con las dosis de 28 mM L<sup>-1</sup>. Para el contenido de molibdeno se encontraron valores entre 10 y 15.10 ppm en las dosis de Zn-EDTA, mientras que las dosis de ZnSO<sub>4</sub> tuvieron contenidos de 13.4 a 17.7 ppm (Figura 2F).



**Figura 2. Contenido de hierro (A), zinc (B), boro (C), manganeso (D), cobre (E) y molibdeno (F) en semillas de frijol caupí (*V. unguiculata* L.) biofortificadas con diferentes dosis de quelato y sulfato de zinc.**

## Conclusiones

La biofortificación del frijol caupí con diferentes dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, tienen efectos en el rendimiento de grano, contenido de proteína cruda total y contenido mineral. Las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA tuvieron los mayores incrementos en el rendimiento de grano por planta con respecto al testigo. Las dosis de Zn-EDTA y ZnSO<sub>4</sub>, disminuyeron los días a floración, e incrementaron el número de vainas, número de granos y el peso de 100 granos con respecto al testigo. Los mayores contenidos de nitrógeno, proteína cruda, fósforo, potasio, calcio, hierro, manganeso y cobre se tuvieron con las dosis de 7 y 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA.

El contenido de zinc incrementó de forma proporcional con la dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> en un 11.28, 19.99 y 23.61%. presentando las dosis de 7, 14 y 28 mM L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub> y la dosis de 14 mM L<sup>-1</sup> de Zn-EDTA valores superiores a las 61 ppm, que se considera como valor crítico para tener un estado de suficiencia de zinc en las plantas cultivadas para consumo humano.

### Literatura citada

- Ahmed, A.; Randhawa, M. A. and Sajid, M. W. 2014. Bioavailability of calcium., iron, and zinc in whole wheat flour. In: Wheat and rice in disease prevention and health benefits, risks and mechanisms of whole grains in health promotion. Watson, R. R.; Preedy, V. and Zibadi, S. (Eds). 1<sup>st</sup> Edition. Academic Press.USA. 67-80 pp.
- Apáez, B. P.; Escalante, E. J. A. y Rodríguez, G. M. T. 2011. Crecimiento y rendimiento del fíjolo chino en función del tipo de espaldera y clima. Trop. Subtrop. Agroecosys. 13(3):307-315.
- Barrameda, M. Y.; Blasco, B.; Lentini, M.; Esposito, S.; Baenas, N.; Moreno, D. A. and Ruiz, J. M. 2017. Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in *Brassica oleracea* cv. Bronco. Plant Sci. 258:45-51.
- Cakmak, I.; Pfeiffer, W. H. and McClafferty, B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. Cereal Chem. 87(1):10-20.
- Devi, C. B.; Kushwaha, A. and Kumar, A. 2015. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). Ind. J. Food Sci. Technol. 52(10):6821-6827.
- Fasaei; R. G. and Ronaghi, A. 2015. The influence of iron chelate and zinc sulfate on the growth and nutrient composition of chickpea grown on a calcareous soil. Ir. Agric. Res. 34(2):35-40.
- Frota, K. M. G.; Soares, R. A. M. e Arêas, J. A. G. 2008. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. Ciênc. Tecnol. Alimentos 28(2):470-476.
- Guillen, M. M.; Márquez, Q. C.; De La Cruz, L. E.; Velázquez, M. J. R.; Soto, P. J. M.; García, C. M. y Orozco, V. J. A. 2016. Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 17:3427-3438.
- Hanumantha, R. B.; Nair, R. M and Nayyar, H. 2016. Salinity and high temperature tolerance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a physiological perspective. Frontiers in Plant Science. 957.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. College of Agriculture, University of California, Berkeley, Calif. 32 p.
- Huett, D. O.; Maier, N. A.; Sparrow, L. A. and Piggot, T. J. 1997. Vegetable crops. In: Reuter, D. J. and Robinson, J. B. (Eds.). Plant analysis: an interpretation manual. 2<sup>nd</sup> ed. CSIRO. Collingwood, Victoria, Australia. CSIRO. 383-464 pp.
- Ibrahim, E. A. and Ramadan, W. A. 2015. Effect of zinc foliar spray alone and combined with humic acid or/and chitosan on growth, nutrient elements content and yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants sown at different dates. Sci. Hortic. 184:101-105.
- Lagunes, E. L. C.; Gallardo, L. F.; Becerril, H. H. y Bolaños, A. E. 2008. Diversidad cultivada y sistema de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 14(1):13-21.

- Manggoel, W. and Uguru, M.I. 2012. Evidence of maternal effect on the inheritance of flowering time in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Inter. J. Plant Breed. Gen.* 6(1):1-16.
- Márquez, Q. C.; De la Cruz, L. E.; Osorio, O. R. and Sánchez, C. E. 2015. Biofortification of cowpea beans with iron: iron's influence on mineral content and yield. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15(4):839-847.
- Morales, M. A. E.; de la Cruz, L. E.; Osorio, O. R.; Sánchez, C. E.; Montemayor, T. A. y Márquez, Q. C. 2016. Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 17:3415-3425.
- Muhammad, I; Rehim, A.; Sarwar, N.; and Hussain, S. 2016. Zinc bioavailability in maize grains in response of phosphorous- zinc interaction. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 179(1):60-66.
- Muranaka, S.; Shono, M.; Myoda, T.; Takeuchi, J.; Franco, J.; Nakazawa, Y.; Boukar, O. and Takagi, H. 2016. Genetic diversity of physical, nutritional, and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. *Plant Gen. Res.* 14(1):67-76.
- Olunike, A. A. 2014. Utilization of legumes in the tropics. *J. Biol. Agric. Healthcare* 4(12):77-84
- Pandey, N.; Pathak, G. C. and Sharma, C. P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *J. Trace Element and Medical Biology.* 20(2):80-96.
- Poblaciones, M. J.; and Rengel, Z. 2016. Soil and foliar zinc biofortification in field pea (*Pisum sativum* L.): Grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. *Food Chem.* 212:427-433.
- Prasad, B. V. G.; Smaranika, M.; Rahaman, S. and Bareily P. 2015. Bio-fortification in horticultural crops. *J. Agric. Eng. Food Technol.* 2(2):95-99.
- Quddus, M. A.; Rashid, M. H.; Hossain, M. A. and Naser, H. M. 2011. Effect of zinc and boron on yield and yield contributing characters of mungbean in low ganges rivel floodplain soil at Madaripur, Bangladesh. *Bangladesh J. Agric. Res.* 36(1):75-85.
- Ratto, S. E. y Miguez, F. H. 2005. Zin en el cultivo del maíz, deficiencia de oportunidad. *Comunicaciones Agronómicas.* 63(10):8-15.
- Sánchez, de la P. L. 1984. La alimentación mineral de las plantas. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. 1ª. Ed. Temas de divulgación. Salamanca, España. 36 p.
- SAS. 2013. Base SAS® 9.4 Procedures guide statistical procedures. Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 550 p.
- Shahzad, Z.; Rouached, H. and Rakha, A. 2014. Combating mineral malnutrition through iron and zinc biofortification of cereals. *Comprehensive Reviewsin Food Science and Food Safety.* 13:329-346.
- Shekari, F.; Javanmard, A. and Abbasi, A. 2015. Zinc biofortification, preference or essential? *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 8(3):320-327.
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado de frijol pelón. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- Sida, A. J. P.; Sánchez, C. E.; Muñoz, M. E. y Flores, C. M. A. 2015a. Parámetros nitrogenados, biomasa y rendimiento en frijol biofortificado con hierro y zinc. *In: Loredo, O. C.; Lara, M. J. L.; Beltrán, L. S. y Valdez, C. R. D. (Comp.). Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.* 383-387 pp.
- Sida, A. J. P.; Sánchez, E.; Dávila, Q. G. D.; Zamudio, F. P. B. and Acosta, M. C. H. 2015b. Can improve iron biofortification antioxidant responde, yield and nutritional in gree bean? *Agric. Sci.* 6(11):1324-1332.

- Timko, M. P. and Singh, B. B. 2008. Cowpea, a multifunctional legume. *In*: Moore, P. H. and Ming, R. (Eds). Genomics of tropical crop plants. Springer. Volume 1. USA. 227-258 pp.
- Wilcox, L. V. 1955. Classification and use of irrigation waters. United States Salinity Laboratory. United States of Department of Agriculture. Circular No. 969. Whashington. 19 p.
- Yue, Q. Z.; Yi, X. S.; You, L. Y.; Rezaul, K. M.; Yan, F. X.; Peng, Y.; Qing, F. M.; Zhen, L. C.; Cakmak, I.; Fu, S. Z. and Chun, Q. Z. 2012. Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. *Field Crops Res.* 125:1-7.