



Effect of Selenium supply on some attributes and mineral content in bean seed (*Phaseolus vulgaris* L.)

Efecto del suministro de Selenio sobre algunos atributos y contenido de minerales en la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Azpilcueta-Pérez, M. E.¹ , Pedroza-Sandoval, A.^{1*} , Sánchez-Cohen, I.² ,
Trejo-Calzada, R.¹ , Jacobo-Salcedo, M. R.² 

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, México. ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Azpilcueta-Pérez, M. E., Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., Trejo-Calzada, R., Jacobo-Salcedo, M. R. (2022). Effect of Selenium supply on some attributes and mineral content in bean seed (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Bio Ciencias*, 9 e1270. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1270>



ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of Selenium on the morphological and physical characteristics, weight, and content of minerals in the bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). A randomized complete block experimental design with seven replications was used. The treatments were three chemical formulations of Selenium: sodium selenite (Na_2SeO_3), selenium dioxide (SeO_2) and sodium selenate (Na_2SeO_4) at three concentrations each one: 5, 10 and 20 mg L⁻¹, more the control (only deionized water). The application of 10 mg L⁻¹ of Na_2SeO_3 improved the width and length of the grain, with values of 7.22 and 12.68 mm, respectively, and the application 5 mg L⁻¹ of SeO_2 improved the thickness and diameter of the grain, with values of 5.04 mm, and 7.68 mm, respectively. Consequently, the weight of 100 seeds was significantly

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: September 16th 2021.

Accepted/Aceptado: September 1st 2022.

Available on line/Publicado: September 7th 2022.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del Selenio en las características morfológicas, físicas, peso y contenido de minerales en la semilla del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con 7 repeticiones. Los tratamientos fueron las formulaciones químicas de Selenio: selenito de sodio (Na_2SeO_3), dióxido de selenio (SeO_2) y selenato de sodio (Na_2SeO_4) con tres concentraciones en cada formulación: 5, 10 y 20 mg L⁻¹ más el testigo (sólo agua desionizada). La aplicación de 10 mg L⁻¹ de Na_2SeO_3 mejoró la anchura y longitud del grano, con valores de 7.22 y 12.68 mm, respectivamente y la aplicación de 5 mg L⁻¹ de SeO_2 mejoró el espesor y diámetro del grano, con valores de 5.04 mm y 7.68 mm, respectivamente. Consecuentemente, el peso de 100 semillas fue significativamente mayor cuando se suplementó 5 mg L⁻¹ de Na_2SeO_3 o SeO_2 , con valores de 30 y 30.99 g, respectivamente. Las formulaciones Na_2SeO_3 y SeO_2 a concentraciones de 5 mg L⁻¹, mejoraron el radio aspecto, volumen y área superficial del grano. Finalmente, la aplicación de SeO_2 y Na_2SeO_3 a concentraciones de 10 y

*Corresponding Author:

Aurelio Pedroza-Sandoval. Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Río Nazas 554, Col. Estrella, Torreón, Coh. C.P. 27010. Phone: 871.8873275. E-mail: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

higher when 5 mg L⁻¹ of Na₂SeO₃ and SeO₂ were supply, with values of 30 and 30.99 g, respectively. The Na₂SeO₃ and SeO₂ formulations at concentrations of 5 mg L⁻¹, improved the radius aspect, the volume and surface area of the grain. Finally, the application of SeO₂ and Na₂SeO₃ at concentrations of 10 and 20 mg L⁻¹, moderately increased the content of Ca and Cu, respectively. The Na₂SeO₃ and SeO₂ formulations at dose 5 mg L⁻¹ was the most consistent in showing a better effect in improving the attributes of bean seeds, compared to the Na₂SeO₄ formulation in any of the concentrations used in this study.

KEY WORDS

Legume, seeds, plant nutrition, biofortification, basic crops.

Introduction

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are produced in different countries for their agri-food importance with a contribution of protein, carbohydrates, dietary fiber, minerals, and vitamins (Gomes *et al.*, 2018). Worldwide, legumes are the only source of dietary protein and the main low-cost animal protein substitute crop (Ruiz-López *et al.*, 2019).

Bean consumption in Mexico is an integral part of the family food diet. Production is 1,184 million tons annually with a value of 16,376 million pesos. The main producing states are Zacatecas, Durango, Chiapas, Sinaloa, San Luis Potosí, Guanajuato, and Nayarit (SIAP, 2020; SAGARPA, 2015). Pinto, Bayo, Flor de mayo and Garbancillo are the most consumed variety beans in the north of the country (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017).

Bean seed characteristics such as shape, size, radio aspect, and volume, among others, are important commercial indicators for the consumer, in addition to the recognition of protein and mineral content (Araya, 2016).

Bean productivity is linked to several factors. The use of nutritional products for the plant is usually a common practice, which allows for strengthening the growth, development, and production of this legume. This type of practice is more important in marginal agricultural conditions, where extreme environmental factors generate stress in the plant and negatively impact production. For the mitigation of plant stress factors, it is common to use bio-

20 mg L⁻¹, aumentaron moderadamente el contenido de Ca y Cu, respectivamente. Las formulaciones Na₂SeO₃ y SeO₂ a dosis de 5 mg L⁻¹ fueron los más consistentes en mostrar un mejor efecto en mejorar los atributos de la semilla de frijol, respecto a la formulación Na₂SeO₄ en cualquiera de las formulaciones usadas en este estudio.

PALABRAS CLAVE

Leguminosas, semillas, nutrición vegetal, biofortificación, cultivos básicos.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se produce en diferentes países por su importancia agroalimentaria con aporte de proteínas, carbohidratos, fibra dietética, minerales y vitaminas (Gomes *et al.*, 2018). En diversas partes del mundo, las leguminosas son la única fuente de proteína dietética y el cultivo principal sustituto de proteína animal de bajo costo (Ruiz-López *et al.*, 2019).

El consumo de frijol en México es parte integral de la dieta alimenticia de la familia. La producción es de 1,184 millones de toneladas anuales con un valor de 16,376 millones de pesos. Los principales Estados productores son Zacatecas, Durango, Chiapas, Sinaloa, San Luis Potosí, Guanajuato y Nayarit (SIAP, 2020; SAGARPA, 2015). Los frijoles pinto, bayo, flor de mayo y garbancillo son los de mayor consumo en el norte del país (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017).

Las características de la semilla del frijol como la forma, tamaño, radio aspecto, volumen, entre otras, son indicadores comerciales importantes para el consumidor, además de su reconocimiento en contenido proteico y mineral (Araya, 2016).

La productividad de esta leguminosa depende de diversos factores. El uso de productos nutricionales para la planta, suele ser una práctica común, que permite fortalecer el crecimiento, desarrollo y producción de esta leguminosa. Este tipo de prácticas son más necesarias en condiciones de agricultura marginal, donde los factores ambientales extremos generan estrés en la planta e impactan negativamente la producción. Para la mitigación de factores extremos de estrés vegetal, es frecuente el uso productos biofortificantes que mantengan un adecuado vigor y crecimiento del cultivo hasta su madurez y cosecha (Tofiño-Rivera *et al.*, 2016). Las principales zonas productoras de frijol en México se

fortifying products to keep adequate crop vigor and growth until ripening and harvest (Tofiño-Rivera *et al.*, 2016).

The main bean-producing areas in Mexico are located at rainfall-deficient areas in the central highlands, with a rainfall regime that varies from 450 to 600 mm on average per year, with shallow soils and low organic matter content and microelements (Borja-Bravo *et al.*, 2018). Selenium (Se) is an essential microelement for crops bio-fortifying and a chemical component in the seed of agri-food benefit in the food diet. In most of the highlands, this micronutrient is deficient in agricultural soils for the staple crops of beans and maize (Sida-Arreola *et al.*, 2015).

Selenite (Na_2SeO_3) and selenate (Na_2SeO_4) are the two most frequent chemical sources of Selenium supply to plants in soils where this element is deficient, due to natural factors such as soil type, microbial activity, and scarce rainfall (Supriatin *et al.*, 2016; Ros *et al.*, 2016). This element has a bio-fortifying action as it strengthens crop development, growth, and yield through tolerance mechanisms to biotic and abiotic environmental stress factors (Méndez-Espinoza & Vallejo, 2019). Foliar application of Selenium is the most effective method since there is a better utilization of this micronutrient by the plant (Li *et al.*, 2018). According to Boghdady *et al.* (2017), foliar applications of Se at 10 ppm favored plant growth and seed yield and quality through better morphometric and nutritional characteristics in fava bean (*Vicia faba* L.). Physiologically, Selenium at low doses (2.5 mg kg^{-1}) improved transpiration rate (63.46 %), photosynthetic rate (47.47 %), and stomatal conductance (54.55 %) in maize crops (Nasseem *et al.*, 2021).

The study of Selenium in plants and other organisms has taken greater relevance due to the generated knowledge, depending on the source, dosage, and environmental conditions in which use of this essential micronutrient is made (Ećimović *et al.*, 2018; Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). This study aimed to evaluate three chemical sources of Selenium at different concentrations each, on morphological, physical, and chemical characteristics of seed in the Pinto Saltillo variety of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under controlled mesh-shade conditions.

ubican en áreas de temporal deficiente en el altiplano central, con un régimen pluvial que varía de 450 a 600 mm en promedio anual, con suelos superficiales y bajos en contenido de materia orgánica y microelementos (Borja-Bravo *et al.*, 2018). El Selenio (Se) es un microelemento esencial para la biofortificación en los cultivos y componente químico en la semilla de beneficio agroalimentario en la dieta alimentaria. En la mayor parte del altiplano, este micronutriente es deficiente en los suelos agrícolas para los cultivos básicos de frijol y maíz (Sida-Arreola *et al.*, 2015).

El selenito (Na_2SeO_3) y selenato (Na_2SeO_4) son las dos fuentes químicas más frecuentes de suministro de Se a las plantas en suelos donde este elemento es deficiente, debido a factores naturales como el tipo de suelo, actividad microbiana y escasa precipitación pluvial (Supriatin *et al.*, 2016; Ros *et al.*, 2016). Este elemento tiene una acción biofortificante ya que fortalece el desarrollo, crecimiento y productividad de los cultivos, mediante mecanismos de tolerancia a factores de estrés ambiental de tipo biótico y abiótico (Méndez-Espinoza & Vallejo, 2019). La aplicación foliar de Se es la forma más eficaz porque hay un mejor aprovechamiento de este micronutriente por la planta (Li *et al.*, 2018). De acuerdo a Boghdady *et al.* (2017), las aplicaciones foliares de Se a 10 ppm favoreció el crecimiento de la planta y el rendimiento y calidad de semilla a través de mejores características morfológicas y nutrimentales en haba (*Vicia faba* L.). Fisiológicamente, el Se a dosis bajas (2.5 mg kg^{-1}) mejoró la tasa de transpiración (63.46 %), tasa fotosintética (47.47 %) y conductancia estomática (54.55 %) en el cultivo del maíz (Nasseem *et al.*, 2021).

El estudio del Se en las plantas y otros organismos, ha tomado mayor relevancia por los beneficios conocidos y aún por conocer, dependiendo de la fuente, dosificación y condiciones ambientales en que se haga uso de este micronutriente esencial (Ećimović *et al.*, 2018; Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). El objetivo de este estudio fue evaluar tres fuentes químicas de Se a diferentes concentraciones cada una, sobre las características morfológicas, físicas y químicas de la semilla en la variedad Pinto Saltillo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones controladas de malla-sombra.

Material and Methods

Study area.

The experiment was carried out at the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) at Gómez Palacio, Durango. The region is located at 25° 35' 21.7" N, 103° 27' 08.77" W with an average annual precipitation record of 304 mm, maximum temperature of 44 °C and minimum of 10.2 °C (Medina *et al.*, 2005).

Experimental and treatment design.

The experiment was performed under greenhouse conditions with the lateral parts covered with double-walled polycarbonate and the roof with 720-gauge chlorophyll green plastic. The temperature was kept at 30 °C and relative humidity at 50-60 %. Temperature and relative humidity were controlled by using extractors and a humid wall, and monitoring was done with temperature and humidity sensors, respectively. Plants were grown in pots on a bed at a height of 1.1 m above the ground.

The experimental design was in randomized complete blocks with seven replications. Ten treatments were installed, more a general control. The first factor was three chemical formulations of selenium (Se): sodium selenite (Na_2SeO_3), selenium dioxide (SeO_2), and sodium selenate (Na_2SeO_4) of Sigma-Aldrich with purity grades of 99 %, 98 %, ≥ 95 %, respectively. The concentrations used in each formulation were 5, 10, and 20 mg L⁻¹, more the control (only deionized water). The experimental unit was three pots with one bean plant each, making a total of 210 pots in the whole experiment. The supply of Selenium was via foliar, with biweekly applications until the pod maturation stage, which corresponded to a period of 84 days after planting (dap).

The study was conducted during the 2018 autumn-winter cycle. Pinto Saltillo variety bean seed was used, which was disinfected with a 5 % sodium hypochlorite (NaClO) solution. Three bean seeds were sown in each pot of 18 L capacity, and then thinned to one plant per pot.

Material y Métodos

Ubicación geográfica del área de estudio.

El experimento se llevó a cabo en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Gómez Palacio, Durango. La región se ubica a 25° 35' 21.7" N, 103° 27' 08.77" W con un registro de precipitación promedio anual de 304 mm, temperatura máxima de 44 °C y mínima de 10.2 °C (Medina *et al.*, 2005).

Diseño experimental y de tratamientos.

El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero con las partes laterales cubiertas con policarbonato de doble pared y el techo con plástico color verde clorofila calibre 720. La temperatura se mantuvo a 30 °C y la humedad relativa a 50-60 %. El control de la temperatura y humedad relativa fue mediante uso de extractores y pared húmeda y el monitoreo se realizó con sensores de temperatura y humedad, respectivamente. Las plantas crecieron en macetas sobre un bancal a una altura de 1.1 m sobre el piso.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con 7 repeticiones. Se instalaron 10 tratamientos producto factorial 3x3, más un testigo general. El primer factor fueron tres formulaciones químicas del Selenio (Se): selenito de sodio (Na_2SeO_3), dióxido de selenio (SeO_2) y selenato de sodio (Na_2SeO_4) de la Marca Sigma-Aldrich con grado de pureza 99 %, 98 %, ≥ 95 %, respectivamente. Las concentraciones usadas en cada formulación fueron 5, 10 y 20 mg L⁻¹, más el testigo (sólo agua desionizada). La unidad experimental fue de tres macetas con una planta de frijol cada una, lo que hizo un total de 210 macetas en todo el experimento. El suministro del Se fue vía foliar, con aplicaciones quincenales hasta la fase de maduración de vaina que correspondió a un período de 84 días después de la siembra (das).

El estudio se llevó a cabo durante el ciclo otoño-invierno de 2018. Se usó semilla de frijol variedad Pinto Saltillo, la cual se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 5 %. Tres semillas de frijol se sembraron en cada maceta de 18 L de capacidad, para posteriormente efectuar un aclareo a una planta por maceta.

The substrate was a mixture of Peat moss and perlite (v/v=80/20). Pots were initially irrigated with water from the local aquifer and frequent irrigations were applied to maintain 60 % of the usable substrate moisture. An extra liter of water was added to avoid salinization. Additionally, fertilization was performed using a nutrient solution composed of 13 mL of phosphoric acid (H_3PO_4), 55 g of MULTI- NPK® (potassium nitrate KNO_3 enriched with phosphorus), 61 g of Haifa MKP® (monopotassium phosphate; KH_2PO_4), 133 g of calcium nitrate [$Ca(NO_3)_2$] and 9.4 g of Librel Mix-AL® with micronutrients (Cu, Fe, Mn, and Zn). The nutrient mixture was diluted in 200 L of water. Fertilization was applied from the emergence of the first pair of leaves. The initial volume of the nutrient solution was 250 mL and, for the ripening stage, 750 mL per pot.

Variables measured.

After bean harvest, 30 bean seeds were taken at random within each treatment. The bean morphological variables evaluated were, length (L), width (W), and thickness (T) of the seeds (mm), which were measured using Ultra Tech brand digital Vernier (± 0.01 mm); geometric mean seed diameter (Dg), obtained using the relationship $Dg = (LWT)^{1/3}$ (Mohite & Sharma, 2018; Suleiman *et al.*, 2015); and the weight of 100 beans seeds (g).

The physical variables were:

Seed sphericity (Φ), calculated with the average values of the three main dimensions mentioned above, using the equation $\Phi = \left[\frac{(LWT)^{1/3}}{L} \right] * 100$ (Mohite & Sharma, 2018); seed aspect ratio (Ra), calculated with the equation $Ra = \frac{W}{L}$ (Davies, 2018; Davies, 2020); seed volume (V) (mm^3), obtained by the equation $V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-3)}$, where, $B = (WT)^{1/2}$ (Davies, 2018; Davies, 2020; Mahapatra *et al.*, 2016); and surface area (mm^2) of the seed, using the function $A = \frac{\pi B^2 L^2}{2L} - B$ (Mahapatra *et al.*, 2016).

The content of micronutrients Ca, Mg, Fe, Mn, and Cu in $mg\ Kg^{-1}$ of dry matter was determined by acid digestion (nitric acid 0.2 N). 0.5 g of bean flour was added with 10 mL of HNO_3 (65 %) and refluxed in the MARS automated digester for 60 min. The samples were read by atomic absorption using a spectrometer (AA-700, PerkinElmer)

El sustrato fue una mezcla de Peat moss y perlita (v/v=80/20). Las macetas fueron regadas inicialmente con agua del acuífero local y se aplicaron riegos frecuentes para mantener 60 % de la humedad aprovechable en el sustrato. Un litro extra de agua fue añadido para evitar la salinización. Adicionalmente, la fertilización se realizó usando una solución nutricional compuesta por 13 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4), 55 g de MULTI- NPK® (Nitrato de potasio KNO_3 enriquecido con fósforo), 61 g de Haifa MKP® (fosfato monopotásico; KH_2PO_4), 133 g de nitrato de calcio [$Ca(NO_3)_2$] y 9.4 g de Librel Mix-AL® con micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). La mezcla nutricional fue diluida en 200 L de agua. La fertilización se aplicó a partir del surgimiento del primer par de hojas. El volumen inicial de la solución nutricional fue de 250 mL y, para la etapa de maduración, fue de 750 mL por maceta.

Variables medidas.

Después de la cosecha del grano, se tomaron al azar 30 semillas de frijol dentro de cada tratamiento. Las variables morfológicas del grano de frijol evaluadas fueron: longitud (L), ancho (W) y espesor (T) de las semillas (mm), las cuales se midieron con uso de Vernier digital marca Ultra Tech (± 0.01 mm); diámetro medio geométrico de la semilla (Dg), obtenida mediante la relación $Dg = (LWT)^{1/3}$ (Mohite & Sharma, 2018; Suleiman *et al.*, 2015) y; peso de 100 semillas (g).

Las variables físicas fueron:

Esfericidad (Φ) de la semilla, calculada con los valores promedios de las tres dimensiones principales antes citadas, mediante la ecuación $\Phi = \left[\frac{(LWT)^{1/3}}{L} \right] * 100$ (Mohite & Sharma, 2018); relación aspecto (Ra) de la semilla, calculada con la ecuación $Ra = \frac{W}{L}$ (Davies, 2018; Davies, 2020); volumen de la semilla (V) (mm^3), obtenida mediante la ecuación $V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-3)}$, donde $B = (WT)^{1/2}$ (Davies, 2018; Davies, 2020; Mahapatra *et al.*, 2016); y área superficial (mm^2) de la semilla, con uso de la función $A = \frac{\pi B^2 L^2}{2L} - B$ (Mahapatra *et al.*, 2016).

El contenido de micronutrientes Ca, Mg, Fe, Mn y Cu en $mg\ Kg^{-1}$ de materia seca, se realizó con digestión ácida (ácido nítrico 0.2 N). Se usó 0.5 g de harina de frijol adicionado con 10 mL de HNO_3 (65 %) y se colocó a reflujo en el digester automatizado marca MARS por 60 min. Las muestras se leyeron por absorción atómica empleando un espectrómetro (AA-700, PerkinElmer) (PerkinElmer)

(PerkinElmer AAnalyst 700 User Manual, 1998-2000). Duplicate samples and spiked samples were analyzed as a verification mechanism.

Data analysis.

An analysis of variance and Tukey multiple range test of means ($p \leq 0.05$) was performed to identify the treatment effect, using SPSS Version 18.0.0 statistical software (Inc. Chicago IL, USA). Excel software was used for the graphs.

Results and Discussion

Morphological characteristics and seed weight.

The application of Se in the Na_2SeO_3 formulation at a concentration of 10 mg L^{-1} , significantly improved ($p \leq 0.05$) grain width and length, with values of 7.22 and 12.68 mm, representing an increase of 2.4 and 2.6 %, respectively, compared to control; bean thickness and diameter, were significantly greater with the supply of Se in the SeO_2 formulation at a concentration of 5 mg L^{-1} , with values of 5.04 mm, and 7.68 mm, respectively, the latter representing an increase of 4.1 %, compared to the control (Table 1). The weight of 100 bean seeds was significantly higher when 5 mg L^{-1} of Se was supplied in the Na_2SeO_3 and SeO_2 formulations, with values of 30 and 30.99 g, respectively, where the control had the lowest weight, with 24.3 g (Figure 1).

The aforementioned effects can be considered moderate, even though they show significance, which suggests that, although a bio-fortifying effect could have occurred with both formulations, they do not have a significant impact on seed morphometric and yield traits. Pereira *et al.* (2019) reported that the foliar application of selenate (Na_2SeO_4) as a bio-fortified did not have an impact on the growth, development, and grain yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L), a legume very close taxonomically to beans.

Selenium plays an important role as an antioxidant, which allows it to tolerate environmental stress, including water deficit to maintain good plant growth and productivity (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). Palacios-

AAnalyst 700 User Manual, 1998-2000). Como mecanismo de verificación se analizaron muestras duplicadas y muestras adicionadas.

Análisis de datos.

Se realizó un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$) para la identificación del efecto de tratamiento, mediante uso del software estadístico SPSS Versión 18.0.0 (Inc. Chicago IL, USA). Para las gráficas se usó el Programa Excel.

Resultados y Discusión

Características morfológicas y peso de semilla.

La aplicación de Se en la formulación de Na_2SeO_3 a una concentración de 10 mg L^{-1} , mejoró significativamente ($p \leq 0.05$) el ancho y longitud del grano, con valores de 7.22 y 12.68 mm, lo cual representa un incremento del 2.4 y 2.6 %, respectivamente, en comparación con el testigo; el espesor y diámetro del grano, fueron significativamente mayores con el suministro de Se en la formulación de SeO_2 a una concentración de 5 mg L^{-1} , con valores de 5.04 mm y 7.68 mm, respectivamente, éste último que representa un incremento de 4.1 %, en relación al testigo (Tabla 1). El peso de 100 semillas de frijol fue significativamente mayor cuando se suministró 5 mg L^{-1} de Se en las formulaciones Na_2SeO_3 y SeO_2 , con valores de 30 y 30.99 g, respectivamente, donde el testigo fue el de peso más bajo, con 24.3 g (Figura 1).

Los efectos antes citados pueden considerarse moderados, aun cuando muestren significancia, lo cual sugiere que, aunque pudiera haber ocurrido un efecto biofortificante por parte de ambas formulaciones, no llegan a impactar tanto en las características morfométricas y de productividad en la semilla. Pereira *et al.* (2019), reportaron que la aplicación foliar de selenato (Na_2SeO_4) como biofortificador, no produjo un impacto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano de caupí (*Vigna unguiculata* L), una leguminosa muy cercana taxonómicamente al frijol.

El Se juega un rol importante como antioxidante, que le permite tolerancia al estrés ambiental, entre ellos el déficit hídrico para mantener un buen crecimiento de la planta y su productividad (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz,

Márquez *et al.* (2021) reported in bean seeds, good content of fiber, proteins, and bioactive compounds due to their high antioxidant capacity as a mechanism to mitigate oxidative stress.

Other researchers cite that the main source of morphological variation and seed productivity in crops is related to genetic causes in response to the environment. Morales-Santos *et al.* (2017), reported that biomass (67 to 124 mg), width (4.36 to 5.72 mm), length (2.65 to 4.92 mm),

Palacios-Márquez *et al.* (2021) reportaron en la semilla de frijol, buen contenido de fibra, proteínas y compuestos bioactivos por su alta capacidad antioxidante como mecanismo para mitigar el estrés oxidativo.

Otros investigadores citan que la principal fuente de variación morfológica y de productividad de las semillas en los cultivos, se relaciona a causas genéticas en respuesta al ambiente. Morales-Santos *et al.* (2017), reportaron que la biomasa (67 a 124 mg), anchura (4.36 a 5.72 mm), longitud

Table 1.
Effect of different chemical formulations and concentrations of Selenium (Se) on some morphological characteristics of been seeds Pinto Saltillo variety.

Tabla 1.
Efecto de diferentes formulaciones y concentraciones de Selenio (Se) sobre algunas características morfológicas de la semilla de frijol variedad Pinto Saltillo.

CHFSE	Doses of Se (mg L ⁻¹)	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	Diameter (mm)
Na ₂ SeO ₃	5	7.20 ^{ab} ± 0.023	12.52 ^{abc} ± 0.036	4.91 ^c ± 0.026	7.60 ^{abc} ± 0.024
Na ₂ SeO ₃	10	7.22 ^a ± 0.026	12.68 ^a ± 0.039	4.96 ^{abc} ± 0.028	7.66 ^{ab} ± 0.027
Na ₂ SeO ₃	20	7.11 ^{abcd} ± 0.029	12.47 ^{abc} ± 0.053	5.00 ^{abc} ± 0.029	7.60 ^{abc} ± 0.031
SeO ₂	5	7.18 ^{abc} ± 0.026	12.65 ^{ab} ± 0.048	5.04 ^{ab} ± 0.0271	7.68 ^a ± 0.029
SeO ₂	10	7.05 ^{cd} ± 0.031	12.47 ^{bc} ± 0.048	4.91 ^c ± 0.029	7.53 ^c ± 0.029
SeO ₂	20	7.09 ^{bcd} ± 0.027	12.64 ^{ab} ± 0.058	5.09 ^a ± 0.035	7.67 ^{ab} ± 0.03
Na ₂ SeO ₄	5	7.13 ^{abcd} ± 0.030	12.52 ^{abc} ± 0.048	5.01 ^{abc} ± 0.032	7.62 ^{abc} ± 0.029
Na ₂ SeO ₄	10	7.06 ^{cd} ± 0.033	12.32 ^c ± 0.051	4.90 ^c ± 0.031	7.50 ^c ± 0.032
Na ₂ SeO ₄	20	7.01 ^d ± 0.027	12.49 ^{abc} ± 0.046	4.95 ^{bc} ± 0.029	7.54 ^{bc} ± 0.029
Control	0	7.04 ^d ± 0.028	12.36 ^c ± 0.046	4.88 ^c ± 0.029	7.49 ^c ± 0.029

Tukey's test ($p < 0.05$). Numbers with the same letters within each column are statistically no different. CHFSE = Chemical formulation of Selenium.

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Números con las mismas letras dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes. FQSE= Formulación química del Selenio.

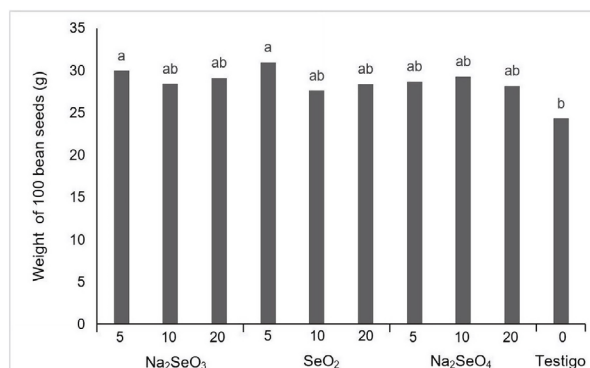


Figure 1. Effect of different chemical formulations and concentrations of selenium (mg L^{-1}) (Se) on the weight of 100 seeds Pinto Saltillo variety beans. Tukey's test ($p < 0.05$). Figures with the same letters on the bars are statistically not different.

Figura 1. Efecto de diferentes formulaciones y concentraciones químicas de selenio (mg L^{-1}) (Se) sobre el peso de 100 semillas de frijol variedad Pinto Saltillo. Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Figuras con las mismas letras sobre las barras, no son estadísticamente diferentes.

and thickness (6.81 to 8.47 mm) of bean seeds showed a gradient between wild, progeny and domesticated variants. González *et al.* (2008) identified that the weight of 100 bean seeds was modified by water availability conditions in the plant and by accelerated plant aging.

Seed physical traits.

Sphericity is an integral variable of the three morphometric dimensions of the seed (width, length, and thickness) therefore, directly related to bean yield; whereas, aspect ratio (Ra) is a simpler variable, corresponding to the ratio between the width and length of the seed, which is indicative of its tendency to be elongated (Wani *et al.*, 2015). The Na_2SeO_3 formulation at a concentration of 5 mg L^{-1} , had the highest Ra value with 0.576 and the Na_2SeO_4 formulation at 20 mg L^{-1} , had the worst effect (Table 2), suggesting, as reported by several authors (Boghdady *et al.*, 2017; Naseem *et al.*, 2021), that the beneficial effect of Selenium is achieved at low doses and an opposite effect at high doses, regardless of the type of formulation.

SeO_2 formulation showed a greater grain volume, with values of 137.91 mm^3 for the 5 mg L^{-1} concentration, an amount equivalent to that obtained when 20 mg L^{-1} of the same formulation was applied; the surface area, showed

(2.65 a 4.92 mm) and el grosor (6.81 a 8.47 mm) de las semillas de frijol, mostraron un gradiente entre variantes silvestres, progenie y domesticadas. González *et al.* (2008), identificaron que el peso de 100 semillas de frijol fue modificado por las condiciones de disponibilidad hídrica en la planta y por el envejecimiento acelerado de la misma.

Características físicas de la semilla.

La esfericidad es una variable integral de las tres dimensiones morfométricas de la semilla (anchura, longitud y espesor) por tanto, directamente relacionada a rendimiento de grano; en tanto que, la relación aspecto (Ra) es una variable más simple, correspondiente a la relación entre el ancho y la longitud de la semilla, que es un indicativo de su tendencia a ser alargada (Wani *et al.*, 2015). La formulación Na_2SeO_3 a una concentración de 5 mg L^{-1} , tuvo el valor más alto de Ra con 0.576 y la formulación Na_2SeO_4 a 20 mg L^{-1} , fue el de peor efecto (Tabla 2), lo que sugiere, como lo han reportado diversos autores (Boghdady *et al.*, 2017; Naseem *et al.*, 2021), que el efecto benéfico del Selenio se logra a dosis bajas y un efecto contrario a dosis altas, independientemente del tipo de formulación.

La formulación SeO_2 mostró un mayor volumen del grano, con valores de 137.91 mm^3 para la concentración de 5 mg L^{-1} , cantidad equivalente a la obtenida cuando se aplicó 20 mg L^{-1} de la misma formulación; el área superficial, mostró un

similar behavior with a value of 157.17 and 157.20 mm³ for the 5 and 20 mg L⁻¹ concentrations, respectively, which shows some inconsistency by SeO₂ dosage gradients. A statistically equal effect was obtained when Na₂SeO₃ was supplied at a concentration of 10 mg L⁻¹ with a record of 136.37 mm³ and 156.52 mm² in volume and surface area, respectively. Grain sphericity showed no response effect to Selenium supply at any of the concentrations and chemical forms used in this study (Table 2).

Based on the above, the two formulations of selenite (Na₂SeO₃) and sodium dioxide (SeO₂), in their different concentration gradients, also showed a moderate effect on the bean seed's physical traits, except for sphericity; selenate (Na₂SeO₄) had no effect, but no negative effect either, since it was equivalent to the effect of the control, except in the case already mentioned of the radius aspect (Ra), which was worse than the control.

comportamiento similar con un valor de 157.17 y 157.20 mm³ para las concentraciones de 5 y 20 mg L⁻¹, respectivamente, lo cual muestra cierta inconsistencia por gradientes de dosificación de SeO₂. Un efecto estadísticamente igual se obtuvo cuando se suministró Na₂SeO₃ a una concentración de 10 mg L⁻¹ con un registro de 136.37 mm³ y 156.52 mm² en volumen y área superficial, respectivamente. La esfericidad del grano no mostró ningún efecto de respuesta al suministro de Se en ninguna de las concentraciones y formas químicas usadas en este estudio (Tabla 2).

Con base en lo anterior, las dos formulaciones de selenite (Na₂SeO₃) y dióxido de sodio (SeO₂), en sus diferentes gradientes de concentración, mostraron un efecto también moderado en las características físicas de la semilla del frijol, excepto la esfericidad; el selenato (Na₂SeO₄), fue el de nulo efecto, pero tampoco de efecto negativo, ya que fue equivalente al efecto del testigo, excepto en el caso ya comentado del radio aspecto (Ra), que fue peor que el testigo.

Table 2.
Effect of different chemical formulations and concentrations of selenium (Se) on the physical attributes of bean seeds Pinto Saltillo variety.

Tabla 2.
Efecto de diferentes formulaciones y concentraciones químicas de selenio (Se) sobre los atributos físicos de la semilla de frijol variedad Pinto Saltillo.

CHFSE	Doses of Se mg L ⁻¹	Sphericity %	Aspect ratio	Volume mm ³	Superficial area mm ²
Na ₂ SeO ₃	5	60.7 ^a ± 0.120	0.576 ^a ± 0.0017	132.78 ^{abcd} ± 1.152	154.06 ^{ab} ± 0.940
-Na ₂ SeO ₃	10	60.4 ^a ± 0.134	0.570 ^{abcd} ± 0.0018	136.37 ^{ab} ± 1.334	156.52 ^a ± 1.088
Na ₂ SeO ₃	20	61.0 ^a ± 0.134	0.571 ^{ab} ± 0.0018	134.03 ^{abcd} ± 1.572	154.93 ^{ab} ± 1.237
SeO ₂	5	60.8 ^a ± 0.132	0.568 ^{abcd} ± 0.0018	137.91 ^a ± 1.448	157.17 ^a ± 1.205
SeO ₂	10	60.4 ^a ± 0.134	0.567 ^{bcd} ± 0.0023	130.01 ^{bcd} ± 1.397	150.09 ^b ± 1.191
SeO ₂	20	60.7 ^a ± 0.135	0.562 ^{cd} ± 0.0019	137.37 ^a ± 1.646	157.20 ^a ± 1.143
Na ₂ SeO ₄	5	60.9 ^a ± 0.141	0.570 ^{abcd} ± 0.0021	134.74 ^{abc} ± 1.445	153.86 ^{ab} ± 1.206
Na ₂ SeO ₄	10	60.9 ^a ± 0.141	0.574 ^{ab} ± 0.0021	129.01 ^{cd} ± 1.505	149.81 ^b ± 1.304
Na ₂ SeO ₄	20	60.4 ^a ± 0.116	0.562 ^d ± 0.0017	130.62 ^{bcd} ± 1.423	152.49 ^{ab} ± 1.148
Control	0	60.7 ^a ± 0.140	0.571 ^{abc} ± 0.0019	128.26 ^d ± 1.374	150.64 ^b ± 1.098

Tukey's test ($p < 0.05$). Numbers with the same letters within each column are statistically no different. CHFSE= Chemical formulation of Se.

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Número con las mismas letras dentro de cada columna, no son significativamente diferentes. FQSE= Formulación química del Selenio

Given the lack of consistency of results in the interaction of the two factors of variation evaluated in this study (chemical formulation and Se dose), we proceeded to make

Ante la falta de consistencia de resultados en la interacción de los dos factores de variación evaluados en este estudio (formulación química y dosis de Se), se procedió a hacer

a statistical analysis by separate factors, where it is shown more clearly how the formulations of selenite (Na_2SeO_3) and Se dioxide (SeO_2), more clearly the latter, were the most consistent formulations in showing a benefit in morphometric and physical characteristics of the seed, in terms of bean seed width, length, thickness, diameter, volume and surface area, except for width and thickness in the SeO_2 and Na_2SeO_3 formulations, which were significantly lower, respectively. Sphericity and radius aspect were not affected by any of the three chemical formulations tested in this study (Table 3).

With respect to concentrations regardless of chemical formulation, the most consistent in showing the best effect was the lowest 5 kg L⁻¹. The higher doses of 10 and 20 kg L⁻¹ were less consistent sometimes with similar effects to the lowest dose (5 kg L⁻¹), but mostly with statistically equal effects to the control. The absence of the effect of Se concentrations on sphericity and radius aspect was confirmed (Table 4).

The SeO_2 formulation at a dose of 5 kg L⁻¹ was the most consistent Se concentration, followed in importance by the Na_2SeO_3 formulation, in influencing some indicators of commercial importance, since it has been pointed out that bean characteristics such as size, color, bean uniformity, flavor, and thickness, are desirable in the market (Muñoz-Velázquez *et al.*, 2009). This type of information is important since some of these seed characteristics determine consumer preference (Davies, 2020).

un análisis estadístico por factores separados, donde se muestra con mayor claridad como las formulaciones de selenito (Na_2SeO_3) y el dióxido de Se (SeO_2), más claramente ésta última, fueron las formulaciones más consistentes en mostrar un beneficio en las características morfológicas y físicas de la semilla, en lo que se refiere a ancho, longitud, espesor, diámetro, volumen y área superficial de la semilla de frijol, excepto para el ancho y espesor en las formulaciones SeO_2 y Na_2SeO_3 , que fueron significativamente menores, respectivamente. La esfericidad y el aspecto radio, no fueron afectadas por ninguna de las tres formulaciones químicas probadas en este estudio (Tabla 3).

Respecto a las concentraciones independientemente de la formulación química, la más consistente en mostrar el mejor efecto fue la más baja 5 kg L⁻¹. Las dosis mayores de 10 y 20 kg L⁻¹ fueron menos consistentes algunas veces con efecto similar a la dosis menor (5 kg L⁻¹), pero en su mayoría con efecto estadísticamente igual al testigo. Se ratifica la ausencia de efecto de las concentraciones de Se en la esfericidad y el aspecto radio (Tabla 4).

La formulación SeO_2 a dosis 5 L⁻¹ fue la concentración de Se más consistente, siguiéndole en importancia la formulación Na_2SeO_3 , en influir en algunos indicadores de importancia comercial, puesto que se ha señalado que las características del grano del frijol como el tamaño, color, uniformidad del grano, sabor y espesor, son deseables en el mercado (Muñoz-Velázquez *et al.*, 2009). Este tipo de información es importante debido a que algunas de estas características de la semilla determinan la preferencia del consumidor (Davies, 2020).

Table 3.
Effect of three chemical formulations of Selenium on the morphological and physical properties in the bean seeds Pinto Saltillo variety.

Tabla 3.
Efecto de tres formulaciones químicas de Selenio sobre las propiedades físicas y morfológicas de las semillas de frijol variedad Pinto Saltillo.

QFSE	Width	Length	Thickness	Diam	Esph	Ra	Volume	Sup A
Na_2SeO_3	7.17 ^a	12.55 ^a	4.96 ^{ab}	7.6 ^a	60.84 ^a	0.5 ^a	134.34 ^a	154.80 ^a
SeO_2	7.10 ^b	12.57 ^a	5.01 ^a	7.62 ^a	60.81 ^a	0.56 ^a	134.75 ^a	155.02 ^a
Na_2SeO_4	7.08 ^b	12.44 ^b	4.95 ^b	7.55 ^b	60.74 ^a	0.56 ^a	131.21 ^b	152.23 ^b

Tukey's test ($p < 0.05$). Numbers with the same letters within each column are statistically no different. FQ, is Chemical formulation of Se; Diam, is diameter; Esph, is sphericity; Ra, is aspect ratio; and Sup. A. is surface area.

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Números con las mismas letras dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes. FQ, es formulación química de Se; Diam, es diámetro; Esf, es esfericidad; Ar, es Aspecto radio y A. sup., es área superficial.

Table 4.
Effect of three concentrations of Selenium on the morphological and physical properties in the bean seeds Pinto Saltillo variety.

Tabla 4.
Efecto de tres concentraciones de Selenio sobre las propiedades morfológicas y físicas en las semillas de frijol variedad Pinto Saltillo.

CONC. (Kg L ⁻¹)	Width	Length	Thickness	Diam	Esph	Ra	Volume	Sup A
5	7.17a	12.57 ^a	4.99 ^a	7.64 ^a	60.80 ^a	0.57 ^a	135.28 ^a	155.66 ^a
10	7.09b	12.46 ^{ab}	4.91 ^b	7.54 ^{bc}	60.72 ^a	0.57 ^a	131.16 ^{bc}	152.14 ^{bc}
20	7.07b	12.52 ^a	5.01 ^a	7.60 ^{ab}	60.83 ^a	0.56 ^a	133.87 ^{ab}	154.26 ^{ab}
0 (Control)	7.04b	12.36 ^b	4.88 ^b	7.49 ^c	60.64 ^a	0.57 ^a	128.11 ^c	149.85 ^c

Tukey's test ($p < 0.05$). Numbers with the same letters within each column are statistically no different. CONC, is Se concentration; Diam, is the diameter; Esph, is sphericity; Ra, is the aspect ratio; and Sup. A. is the surface area.

Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Números con las mismas letras dentro de cada columna, no son estadísticamente diferentes. FQ, es formulación química de Se; Diam, es diámetro; Esf, es esfericidad; Ar, es Aspecto radio y A. sup., es área superficial.

Content of some minerals in the seed.

Studies showed that selenium stimulates the synthesis of proteins, amino acids, secondary nitrogen compounds, phenolic compounds, and other essential minerals important in nutrition (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). In this study, Mg, Ca, and Fe, were the microelements with the highest concentration in bean seed, with no statistical difference between treatments in the first (Mg), and similar behavior in the second (Ca), surpassing the control in any of the formulations and concentrations of Se, except the formulation of Na₂SeO₄ at the dose of 10 mg L⁻¹, which was equal to the control. The Fe concentration did not show any statistical difference from the control (Figure 2).

These results are similar to those reported by Sabatino et al. (2019), who showed that the application of Na₂SeO₄ at doses of 0.2 to 1.5 mg L⁻¹ registered a negative correlation with the Ca concentration in *Endibia rizada* L. In contrast, this response behavior is contrary to that reported by Golubkina et al. (2019), who noted that the supply of Na₂SeO₄ at doses of 50 mg L⁻¹ increased Ca concentration in *Allium ascalonicum* L. These opposing effects on Ca, suggest that it may be related to the doses used since it has been recognized that the application of Se at moderate doses can be beneficial in

Contenido de algunos minerales en la semilla.

Estudios realizados demostraron que el selenio estimula la síntesis de proteínas, aminoácidos, compuestos secundarios de nitrógeno, compuestos fenólicos y otros minerales esenciales importantes en la nutrición (Garduño-Zepeda & Márquez-Quiroz, 2018). En este estudio el Mg, Ca y Fe, fueron los microelementos de mayor concentración en la semilla de frijol, sin diferencia estadística entre tratamientos en el primero (Mg), y un comportamiento similar en el segundo (Ca), superando al testigo en cualquiera de las formulaciones y concentraciones de Se, excepto la formulación de Na₂SeO₄ a la dosis de 10 mg L⁻¹, que fue igual al testigo. La concentración de Fe no presentó diferencia estadística con el testigo (Figura 2).

Estos resultados son similares a los reportados por Sabatino et al. (2019), quienes identificaron que la aplicación de Na₂SeO₄ a dosis de 0.2 a 1.5 mg L⁻¹ registró una correlación negativa con la concentración de Ca en *Endibia rizada* L. En cambio, este comportamiento de respuesta es contrario a lo reportado por Golubkina et al. (2019), quienes señalaron que el suministro de Na₂SeO₄ a dosis de 50 mg L⁻¹ incrementó la concentración de Ca en *Allium ascalonicum* L. Estos efectos contrapuestos sobre el Ca, sugiere que pueda estar relacionado a las dosis utilizadas, puesto que se ha reconocido que la aplicación de Se a dosis moderadas

plants, but at high doses can produce an opposite effect given to oxidative processes (Palacios-Márquez *et al.*, 2021); the type of effect may also be related to the plant species in which this microelement is applied and the chemical form in which it is supplied (Ziogas *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2018).

puede ser benéfico en las plantas, pero a dosis altas pueden ejercer un efecto contrario por los procesos oxidativos que generan (Palacios-Márquez *et al.*, 2021); el tipo de efecto también puede estar relacionado a la especie vegetal en que se aplique este microelemento y la forma química en que se suministre (Ziogas *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2018).

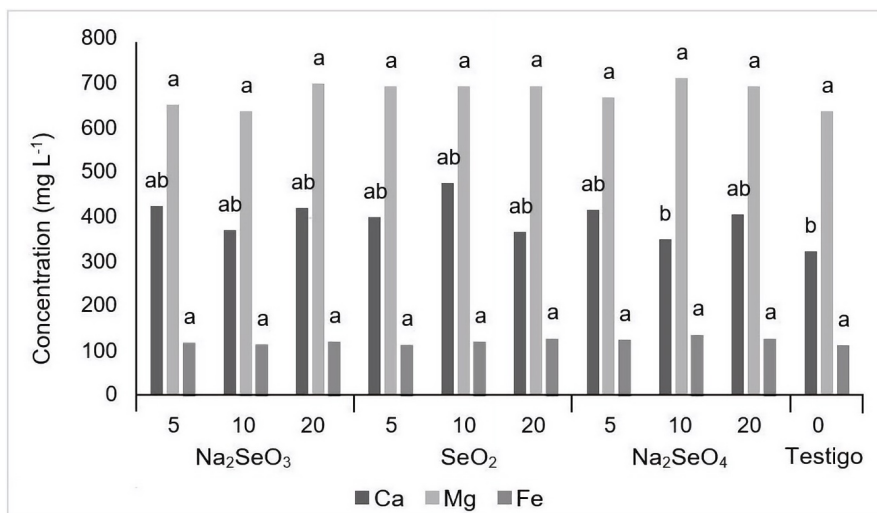


Figure 2. Effect of different chemical formulations and concentrations of selenium (Se) on the content of the minerals Ca, Mg, and Fe in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Tukey's test ($p < 0.05$). Figures with the same letters on the columns are statistically no different.

Figura 2. Efecto de diferentes formulaciones y concentraciones químicas de selenio (Se) sobre el contenido de minerales Ca, Mg y Fe en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Figuras con las mismas letras sobre las barras, no son estadísticamente diferentes.

The mineral elements Mn and Cu were those with the lowest concentration in the seed, with respect to Mg, Ca, and Fe. The Mn was similar among treatments, including the control; Cu only showed a higher concentration in the SeO₂ formulation at the dose of 10 mg L⁻¹ with a value of 12.1 mg kg⁻¹; the rest of the treatments registered intermediate values between it and the control. In particular, the 20 mg L⁻¹ dose of Na₂SeO₄ was the worst treatment with a value of 4.0 mg kg⁻¹, even lower than the control, which suggests the negative effect of Se when supplied in this formulation and at high concentrations (Naseem *et al.*, 2021). The Cu contents in the plant ranged from 4.01 to 12.1 mg kg⁻¹, whereas the control had 5.5 mg kg⁻¹, which was less than 50 % of that accumulated in the 20 mg L⁻¹ Na₂SeO₃ treatment (Figure 3). These results are contrary to those reported

Los elementos minerales Mn y Cu, fueron los de menor concentración en la semilla, respecto al Mg, Ca y Fe. En particular el Mn fue similar entre los tratamientos, incluido el testigo; el Cu sólo mostró una mayor concentración en la formulación SeO₂ a la dosis de 10 mg L⁻¹ con un valor de 12.1 mg Kg⁻¹; el resto de los tratamientos registraron valores intermedios entre éste y el testigo. En particular la dosis de 20 mg L⁻¹ de Na₂SeO₄, fue el peor tratamiento con un valor de 4.0 mg Kg⁻¹, inferior inclusive al testigo, lo que sugiere el efecto negativo del Se al ser suministrado en esta formulación y a altas concentraciones (Naseem *et al.*, 2021). Los contenidos de Cu en la planta oscilaron entre 4.01 a 12.1 mg Kg⁻¹, en donde el testigo tuvo 5.5 mg Kg⁻¹, que fue menos del 50 % de lo acumulado en tratamiento de 20 mg L⁻¹ de Na₂SeO₃ (Figura 3). Estos resultados son contrarios a los reportados por Lukaszewicz *et al.* (2018)

by Lukaszewicz *et al.* (2018) who supplied Na_2SeO_3 and Na_2SeO_4 in pea (*Pisum sativum* L and it increased Cu concentration in the plant. Kleiber *et al.* (2018) found no effect of Se application in lettuce (*Lactuca sativa* L.).

quienes suministraron Na_2SeO_3 y Na_2SeO_4 en chícharo (*Pisum sativum* L y ello incrementó la concentración de Cu en la planta. Kleiber *et al.* (2018) no encontraron efecto por la aplicación de Se en lechuga (*Lactuca sativa* L.).

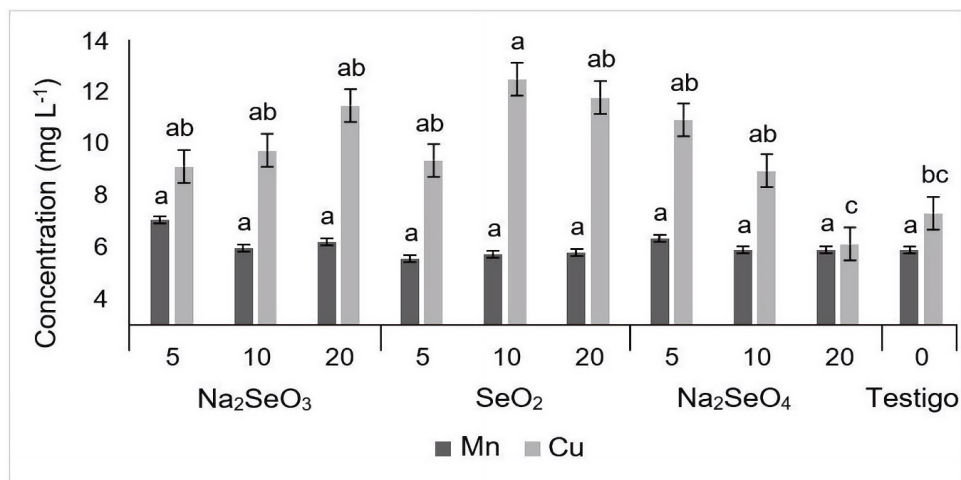


Figure 3. Effect of different chemical formulations and concentrations of selenium (Se) on the content of the minerals Mn and Cu in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Tukey's test ($p < 0.05$). Figures with the same letters on columns are statistically no different.

Figura 3. Efecto de diferentes formulaciones y concentraciones químicas de selenio (Se) sobre el contenido de minerales Mn y Cu en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Prueba de Tukey ($p < 0.05$). Figuras con las mismas letras sobre las barras, no son estadísticamente diferentes.

Conclusions

The chemical formulations of selenium SeO_2 and Na_2SeO_3 , mainly the former, were the most consistent in better in thickness, diameter, volume, and surface area of bean seeds at 5 mg L⁻¹, and the latter with greater width, length, aspect ratio, and surface area of the seed when applied between 5 and 10 mg L⁻¹. The weight of 100 bean seeds and sphericity showed weakly and no treatment effect, respectively. Mg, Ca, and Fe were those with the highest concentration in the seed, with respect to Mn and Cu, but only Ca and Cu showed a greater response effect to the supply of Se, in relation to the control. The Na_2SeO_4 formulation, mainly at higher doses (20 mg kg⁻¹), had a negative effect on most of the morphological, physical, and yield characteristics of a bean seeds.

Conclusiones

Las formulaciones químicas de selenio SeO_2 y Na_2SeO_3 , principalmente la primera, fueron las más consistentes en mejorar el espesor, diámetro, volumen y área superficial de la semilla de frijol a 5 mg L⁻¹ y la segunda con un mayor ancho, longitud, aspecto radio y área superficial de la semilla al aplicar entre 5 y 10 mg L⁻¹. El peso de 100 semillas y la esfericidad mostraron un efecto débil y nulo efecto de tratamiento, respectivamente. El Mg, Ca y Fe fueron los de mayor concentración en la semilla, respecto del Mn y Cu, pero solo el Ca y el Cu mostraron efecto de mayor respuesta al suministro de Se, respecto del testigo. La formulación Na_2SeO_4 , principalmente a dosis mayores (20 mg Kg⁻¹) observó un efecto negativo en la mayoría de las características morfológicas, físicas y de productividad de la semilla de frijol.

References

- Araya, V. R., Hernández, J. C., & Martínez, U. K. (2016). Sistema alternativo de producción de semilla de alta calidad de frijol común. En: Producción de semilla de alta calidad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (Rodolfo Araya Villalobos y Marco Vinicio Gutiérrez Soto, Eds.). Primera Edición. Ediciones Didácticas Nexa, E.I.R.L. San José Costa Rica.
- Boghdady, S., Desoky, E. M., Azoz, S. N., & Nassar, D. M. A. (2017). Effect of Selenium on growth, physiological aspects and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.). *Egyptian Journal of Agronomy*, 39(1), 83-97. <https://doi.org/10.21608/AGRO.2017.662.1058>
- Borja-Bravo, M., Osuna-Ceja, E. S., Arellano-Arciniega, S., García-Hernández, R. V., & Martínez-Gamiño, M. A. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de frijol en condiciones de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 443-450. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.443-450>
- Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): Implications for health. *Molecules*, 22(8), 1360. <http://doi.org/10.3390/molecules22081360>
- Davies, R. (2018). Some physical and mechanical properties of ear fruits and seeds. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 5(12), 51-57. <https://www.researchgate.net/publication/340649297>
- Davies, R. (2020). Some physical properties of okra fruits and seeds. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 8(1), 23-29. <http://ijrsset.org/pdfs/v5-i12/4.pdf>
- Ečimović, S., Velki, M., Vuković, R., Čamagajevac, I., Petek, A., Bošnjaković, R., Grgić, M., Engelmann, P., Bodó, K., Filipović-Marijić, V., Ivanković, D., Erk, M., Mijošek, T., & Lončarić, Z. (2018). Acute toxicity of selenate and selenite and their impacts on oxidative status, efflux pump activity, cellular and genetic parameters in earthworm. *Eisenia andrei*. *Chemosphere*, 212, 307-318. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.095>
- Garduño-Zepeda, A. M., & Márquez-Quiroz, C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas. Revisión bibliográfica. *Información Técnica Económica Agraria*, 114(4), 327-343. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6775967>
- Golubkina, N., Zamana, S., Seredin, T., Poluboyarinov, P., Sokolov, S., Baranova, H., Krinkevov, L., Pietrantonio, L., & Caruso, G. (2019). Effect of selenium biofortification and beneficial microorganism inoculation on yield, quality and antioxidant properties of shallot bulbs. *Plants*, 8(102), 1-18. <https://doi.org/10.3390/plants8040102>
- Gomes, F., Ferreira, A. A., Wojeicchowski, J. P., Nogueira, A., & Mottin, I. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19, 63-71. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2018.01.010>
- González, T. G., F. M. Mendoza H., J. Covarrubias P., N. Morán V., & J. A. Acosta G. (2008). Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del Bajío. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), 421-430. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n4/v34n4a5.pdf>
- Muñoz-Velázquez, E. E., Rubio-Hernández, D., Bernal-Lugo, I., Garza-García, R., & Jacinto-Hernández, C. (2009). Caracterización de genotipos nativos de frijol del estado de Hidalgo, con base a calidad del grano. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 429-438. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000400008&lng=es&tng=es
- Jain, R. K., & Bal, S. (1997). Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(29), 85-91. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-baa38ea8-67f1-31d0-89ae-f42ddecc7cf9>
- Kleiber, T., Krzesinski, W., Przygocka-Cyna, K., & Spizewsk, T. (2018). Alleviation effect of selenium on manganese stress of plants. *Ecological Chemistry and Engineering*, 25(1), 143-152. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0010>
- Li, M., Zhao, Z., Zhou, J., Zhou, D., Chen, B., Huang, L., Zhang, Z., & Liu, X. (2018). Effects of foliar spray of selenite or selenate at different growth stages on selenium distribution and quality of blueberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(12), 4700-4706. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9004>
- Lukaszewicz, S., Polyticka, B., & Smolen, S. (2018). Effects of selenium on the content of essential micronutrients and their translocation in garden pea. *Journal of Elementology*, 23(4), 1307-1317. <https://doi.org/10.5601/>

- [jelem.2017.22.4.1577](#)
- Mahapatra, A. K., Ekefre, D. E., Degala, H. L., Punnuri, S. M., & Terrill, T.H. (2016). Moisture-dependent physical and thermal properties of sericea lespedeza seeds. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(3), 389-397. <https://doi.org/10.13031/aea.13228>
- Medina, G. G., Díaz, P. G., López, H. J., Ruíz, C. J. A., & Marín, S. M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico № 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP. México.
- Méndez-Espinoza, C., & Vallejo R. M. Á. (2019). Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56), 33-64. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.567>
- Mohite, A. M., & Sharma, N. (2018). Drying behaviour and engineering properties of lima beans. *Agricultural Engineering International*, 20(3), 180-185. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/download/4838/2797/22278>
- Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es
- Naseem, M., Anwar-ul-Haq, M., Wang, X., Farooq, N., Awais, M., Sattar, H., Malik, H. A., Mustafa, M., Ahmad, J., & El-Esawi, M. A. (2021). Influence of Selenium on growth, physiology, and antioxidant responses in maize varies in a dose-dependent manner. *Journal of Food Quality*, Article ID 6642018, <https://doi.org/10.1155/2021/6642018>
- Pereira, R. D., Coelho, de O. T., Tavares, A de S.S., Nascimento, L. V., Savelli, M. R. A., Freitas, A., Chagas, J., & Ribeiro, F. R. (2019). Agronomic biofortification of cowpea with selenium by foliar fertilization: effect of doses in three cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 4(43), 1532-4087. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1685096>
- Palacio-Márquez, A., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Preciado-Rangel, P., Hernández-Rodríguez, O. A., & Sánchez, E. (2021). Biofortification potential in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): bioactive compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of 155 varieties grown in México. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(1), 12123. <https://doi.org/10.15835/nbha49112123>
- Ros, G. H., Van Rotterdam, A. M. D., & Bussink, D. W. (2016). Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: an agro-ecosystem approach. *Plant Soil*, 404: 99-112. <https://www.jstor.org/stable/43872668>
- Ruiz-López, M. A., Barrientos-Ramírez, L., García-López, P. M., Valdés-Miramontes, E. H., Zamora-Natera, J. F., Rodríguez-Macias, R., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Nutritional and bioactive compounds in mexican lupin beans species: A mini-review. *Nutrients*, 11(8): 1785. <https://doi.org/10.3390/nu11081785>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SAGARPA]. (2015). Propuesta de estructuras tipo para la organización de conglomerados productivos y comerciales, integrados por pequeños productores de frijol con empresas integradoras. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346972/Frijol_Detallado.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2020). *Avances de siembras y cosechas por cultivo*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sida-Arreola, J. P., Sánchez, Ávila-Quezada, G. D., Acosta-Muñoz, C. H., & Zamudio-Flores, P. B. (2015). Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas y su impacto en la nutrición y salud humana. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(2), 67-74. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/591>
- Suleiman, R., Xie, K., & Rosentrater, K. (2015). Physical and thermal properties of chia, kañiwa, triticale and farro as a function of moisture content. *ASABE Annual International Meeting Paper*, 152189412. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2933.7445>
- Supriatin, S., Weng, L., & Comans, R. (2016). Selenium-rich dissolved organic matter determines selenium uptake in wheat grown on Low-selenium arable land soils. *Plant Soil*, 408: 73–94. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2900-7>
- Tofiño-Rivera, A. P., Pastrana-Vargas, I. J., Melo-Ríos, A. E., Beebe S., & Tofiño-Rivera R. (2016). Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de genotipos de frijol biofortificado en el Caribe seco colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 309-329. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:511
- Wani, I. A., Sogi, D. S., Wani, A. A., & Gill, B. S. (2015). Physical and cooking characteristics of some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 7-15.

<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.12.002>

Ziogas, Z., Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., & Molassiotis, A. (2020). Chapter 29. Manipulating fruit quality through foliar nutrition. In Fruit Crops. *Diagnosis and Management of Nutrient Constraints*, 401-417.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00029-0>