

## Fertilization management in 'Pinto Centauro' beans and its impact on yield, nutritional quality and profitability index

## Manejo de fertilización en frijol 'Pinto Centauro' y su impacto en el rendimiento, calidad nutricional e índice de rentabilidad

Iván A. Rico-Alderete<sup>1</sup>; Esteban Sánchez-Chávez<sup>2</sup>;  
Juan Manuel Soto-Parra<sup>1</sup>; Rubén Antillón-Leyva<sup>1</sup>; Nora A. Salas-Salazar<sup>1</sup>; Damaris L. Ojeda-Barrios<sup>1</sup>; María Antonia Flores-Córdova<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Escorza núm. 900, Col. Centro, Chihuahua, Chihuahua, C. P. 3100, MÉXICO.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Avenida Cuarta Sur núm. 3820, Fraccionamiento Vencedores del Desierto, Cd. Delicias, Chihuahua, C. P. 33089, MÉXICO.

\*Corresponding author: mariflor\_556@hotmail.com, tel. 614 242 43 30.

### Abstract

Fertilization offers a way to counteract micronutrient deficiencies and achieve a higher mineral content in plants. The objective of this study was to evaluate the response to fertilization management in 'Pinto Centauro' beans, as well as its impact on yield, nutritional quality and profitability index. The study was conducted during the spring-summer 2017 growing season in a rainfed 'Pinto Centauro' bean crop in the municipality of Cusiuhiriachi, Chihuahua, Mexico. A randomized complete block experimental design was used with three fertilization management schemes: control FM1 (N, P and K, with 41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively), fertilization FM2 (N, P, K, S and Zn, with 41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively) and fertilization FM3 (N, P, K, S and Zn, with 45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). Yield, nutritional quality (physicochemical properties and mineral content) and profitability were evaluated. The results obtained were statistically significant. FM3 fertilization increased yield by 46.26 %. In terms of nutritional quality, the highest concentrations were 8.35 % protein, 74 % phosphorus, 16.3 % iron and 39.77 % zinc. The profitability index was higher (55 %) with the FM3 treatment, compared to the control. Fertilization improved bean productivity and quality under rainfed conditions, making it a viable and sustainable strategy in semi-arid bean producing regions in Mexico and the world.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*, physicochemical, yield, Zn, Fe.

### Resumen

La fertilización ofrece una forma de contrarrestar las deficiencias de micronutrientes y lograr un mayor contenido mineral en las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del manejo de la fertilización en frijol 'Pinto Centauro', así como su impacto en el rendimiento, la calidad nutricional y el índice de rentabilidad. El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2017 en el cultivo de frijol 'Pinto Centauro' de temporal en el municipio de Cusiuhiriachi, Chihuahua, México. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres esquemas de manejo de fertilización: testigo MF1 (N, P y K, con 41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente), fertilización MF2 (N, P, K, S y Zn, con 41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y fertilización MF3 (N, P, K, S y Zn, con 45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Se evaluó el rendimiento, la calidad nutricional (propiedades físico-químicas y contenido mineral) y la rentabilidad. Los resultados obtenidos fueron estadísticamente significativos. La fertilización MF3 incrementó el rendimiento en 46.26 %. En términos de calidad nutricional, las concentraciones más altas fueron 8.35 % de proteína, 74 % de fósforo, 16.3 % de hierro y 39.77 % de zinc. El índice de rentabilidad fue mayor (55 %) con el tratamiento MF3, en comparación con el testigo. La fertilización mejoró la productividad y la calidad del frijol en condiciones de temporal, siendo una estrategia viable y sustentable en las regiones semiáridas productoras de frijol en México y en el mundo.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris*, físico-químicos, rendimiento, Zn, Fe.

Please cite this article as follows (APA 6): Rico-Alderete, I. A., Sánchez-Chávez, E., Soto-Parra, J. M., Antillón-Leyva, R., Salas-Salazar, N. A., Ojeda-Barrios, D. L., & Flores-Córdova, M. A. (2020). Fertilization management in 'Pinto Centauro' beans and its impact on yield, nutritional quality and profitability index. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 207-222. doi: 10.5154/r.rchsh.2020.03.005



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

In Mexico, the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is of great economic importance to the country, as it ranks second in the agri-food sector. In addition, it is a staple food in the diet of its population, mainly in low-income social strata (Rodríguez-Licea, García-Salazar, Rebollar-Rebollar, & Cruz-Contreras, 2010). This legume is important for its high content of proteins, fiber, calories, B vitamins and minerals, mainly calcium, iron, zinc, magnesium and phosphorus (Fernández-Valenciano & Sánchez-Chávez, 2017).

The deficiency of micronutrients such as iron and zinc is a public health problem that affects more than a third of the world's population (Restrepo-Caro et al., 2016). Fe deficiency is the most important nutritional disorder in the world, since this element participates in oxidation-reduction processes, transports oxygen in enzymatic reactions linked to intracellular respiration and electron transport, catalyzes the formation of  $\beta$ -carotene into vitamin A, induces antibody synthesis and enhances immunity (Yin, Yuan, Liu, & Lin, 2012). Zn is ranked as the fifth highest risk factor for disease in developing countries. This element is an essential component of several enzymes (dehydrogenases, protease and peptidases); it participates in cellular respiration, in the maintenance of the cell membrane, and in the elimination of free radicals, as well as in the action of insulin in the synthesis and degradation of carbohydrates, lipids, proteins and nucleic acids (Márquez-Quiroz et al., 2018).

Unfortunately, beans come to have low Zn content when soils are deficient in microelements. Hossein, Mohammad, Hemmatollah, and Mohammad (2008) note that beans are highly susceptible to Zn deficiency, and their mobility is affected when there is an increase in soil pH, which decreases their assimilation capacity. Zn acts directly on the cellular metabolism, as a stabilizer of the structure of proteins and nucleic acids; it also keeps photosystem II active, which is important since it is responsible for capturing light during the photosynthesis process, and is part of the enzymes that participate in the perception of biotic and abiotic stress. In this way, Zn stimulates both growth and productivity (Amezcu-Romero & Lara-Flores, 2017).

Recent studies have reported that Zn application has a positive effect on grain yield and its concentration in seeds, especially in soils deficient in this element (Hidoto, Taran, Worku, & Mohammed, 2017; Shivay, Prasad, & Pal, 2014). On the other hand, Khoshgoftarmanesh, Schulin, Chaney, Daneshbakhgn, and Afyuni (2010) report that there are Zn-deficiency

## Introducción

En México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es de gran importancia económica para el país, ya que ocupa el segundo lugar en el sector agroalimentario. Además, representa un alimento básico en la dieta de su población, principalmente en los estratos sociales de bajos ingresos (Rodríguez-Licea, García-Salazar, Rebollar-Rebollar, & Cruz-Contreras, 2010). Esta leguminosa es importante por su alto contenido de proteínas, fibra, calorías, vitaminas B y minerales, principalmente calcio, hierro, zinc, magnesio y fósforo (Fernández-Valenciano & Sánchez-Chávez, 2017).

La deficiencia de micronutrientes como el hierro y el zinc es un problema de salud pública que afecta a más de un tercio de la población mundial (Restrepo-Caro et al., 2016). La deficiencia de Fe es el trastorno nutricional más importante en el mundo, ya que este elemento participa en procesos de óxido-reducción, transporta el oxígeno en reacciones enzimáticas vinculadas a la respiración intracelular y transporte de electrones, cataliza la formación de  $\beta$  caroteno en vitamina A, induce la síntesis de anticuerpos y mejora la inmunidad (Yin, Yuan, Liu, & Lin, 2012). Por su parte, el Zn es considerado como el quinto factor de riesgo de enfermedades en los países en desarrollo. Este elemento es un componente esencial de varias enzimas (deshidrogenasas, proteasa y peptidasas), participa en la respiración celular, en el mantenimiento de la membrana celular, en la eliminación de radicales libres, así como en la acción de la insulina en la síntesis y degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Márquez-Quiroz et al., 2018).

Desafortunadamente, el frijol llega a presentar bajo contenido de Zn cuando los suelos presentan deficiencia de microelementos. Hossein, Mohammad, Hemmatollah, y Mohammad (2008) mencionan que el frijol es muy susceptibles a la deficiencia de Zn, y su movilidad se ve afectada cuando hay un aumento del pH en el suelo, lo que disminuye su capacidad de asimilación. El Zn actúa directamente en el metabolismo celular, como un estabilizador de la estructura de proteínas y ácidos nucleicos; además, mantiene activo el fotosistema II, el cual es encargado de capturar la luz durante el proceso de fotosíntesis, y forma parte de las enzimas que participan en la percepción del estrés biótico y abiótico. De esta manera, el Zn estimula tanto el crecimiento como la productividad (Amezcu-Romero & Lara-Flores, 2017).

Estudios recientes han informado que la aplicación de Zn presenta un efecto positivo sobre el rendimiento del grano y su concentración en las semillas, especialmente en suelos con deficiencia de este

tolerant bean cultivars that grow and perform well in deficient soil. However, not all soils have these characteristics. Moniruzzaman, Islam, and Hassan (2008) point out that beans can absorb sulfur in large amounts, and that it is necessary to maintain the nitrogen/sulfur ratio in the plant to produce protein; sulfur application between 10 and 20 kg·ha<sup>-1</sup> can control its deficiency.

One strategy for reducing mineral deficiency problems in plants is fertilization management, which generates micronutrient-rich staple crops. In addition, it is a relatively economic, profitable, and sustainable agricultural technique that leads to nutritionally improved crops (Beintema, Gallego-Castillo, Londoño-Hernández, Restrepo-Manjarres, & Talsma 2018). These crops are a viable means for people in the low-income stratum to obtain sufficient nutrition. Such a strategy is practical, long-lasting, and cost-effective for increasing daily mineral intake in vulnerable populations (García-Bañuelos, Sida-Arreola, & Sánchez-Chávez, 2014), which makes this approach attractive in economic terms, compared to supplementation programs. Therefore, the objective of this study was to evaluate the response in 'Pinto Centauro' beans to fertilization management, as well as its impact on yield, nutritional quality and profitability index.

## Materials and methods

### Plant matter

We used the 'Pinto Centauro' bean, which is a variety from a cross made by the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) – Durango between the 'Pinto Mestizo' and 'Pinto Saltillo' beans. 'Pinto Centauro' is an early-cycle bean, which makes it suitable for areas with low rainfall (350 to 480 mm). This variety has a larger bean (34 to 45 g·100 seeds<sup>-1</sup>), disease resistance and a testa that is tolerant to darkening, which prolongs its shelf life and increases its market price (Rosales-Serna, Ibarra-Pérez, & Cuéllar-Robles, 2012).

### Crop management

The 'Pinto Centauro' bean crop was established during the spring-summer 2017 growing season under rainfall conditions in the municipality of Cusihiuriachi, Chihuahua, Mexico, at the "San Pedro" Ranch (28° 14' 22.075" NL and 106° 50' 1.907" WL, at 1997 masl). Sowing took place on July 25, 2017, and harvesting on November 8, 2017. Sowing was carried out in furrows 0.30 m high and 0.8 m wide, with a distance of 0.15 m between plants and 0.20 m between furrows. At the time of sowing, a thorough fertilization was applied. During the evaluation period, an average maximum

elemento (Hidoto, Taran, Worku, & Mohammed, 2017; Shivay, Prasad, & Pal, 2014). Por otro lado, Khoshgoftarmanesh, Schulin, Chaney, Daneshbakhgn, y Afyuni (2010) mencionan que existen cultivares de frijol tolerantes a la deficiencia de Zn, los cuales crecen y rinden bien en suelo con deficiencia. Sin embargo, no todos los suelos tienen estas características. Moniruzzaman, Islam, y Hassan (2008) señalan que el frijol puede absorber azufre en grandes cantidades, y es necesario mantener la relación nitrógeno/azufre en la planta para producir proteína; la aplicación de azufre entre 10 y 20 kg·ha<sup>-1</sup> puede controlar su deficiencia.

Una estrategia para reducir los problemas de deficiencia mineral en las plantas es el manejo de la fertilización, la cual genera cultivos básicos ricos en micronutrientes. Además, es una técnica agrícola relativamente económica, rentable, sostenible y que conduce a cultivos mejorados nutricionalmente (Beintema, Gallego-Castillo, Londoño-Hernández, Restrepo-Manjarres, & Talsma 2018). Estos cultivos son un medio viable para personas de bajos recursos o con desnutrición de las zonas rurales. Dicha estrategia es práctica, duradera y rentable para aumentar la ingesta diaria de minerales en poblaciones vulnerables (García-Bañuelos, Sida-Arreola, & Sánchez-Chávez, 2014), lo que convierte atractivo a este enfoque en términos económicos, en comparación con los programas de suplementación. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta del manejo de la fertilización en frijol 'Pinto Centauro', así como su impacto en el rendimiento, la calidad nutricional y el índice de rentabilidad.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se utilizó frijol 'Pinto Centauro', que es una variedad de una crucea realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) – Durango entre el frijol 'Pinto Mestizo' y el 'Pinto Saltillo'. El frijol 'Pinto Centauro' es de ciclo precoz, lo que lo hace adecuado en áreas con lluvia escasa (350 a 480 mm). Esta variedad de frijol presenta grano de mayor tamaño (34 a 45 g·100 semillas<sup>-1</sup>), resistencia a enfermedades y testa tolerante al oscurecimiento, lo que prolonga su vida de anaquel e incrementa su precio en el mercado (Rosales-Serna, Ibarra-Pérez, & Cuéllar-Robles, 2012).

### Manejo del cultivo

El cultivo del frijol 'Pinto Centauro' se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2017 bajo condiciones de temporal en el municipio de

**Table 1. Reported temperature and rainfall during the production period (spring-summer 2017).**  
**Cuadro 1. Reporte de temperatura y precipitación durante el periodo de producción (primavera-verano de 2017).**

Month/Mes	Maximum temperature (°C) / Temperatura máxima (°C)	Minimum temperature (°C) / Temperatura mínima (°C)	Rainfall (mm) / Precipitación (mm)
June/Junio	34.59	16.56	4.50
July/Julio	25.68	13.54	288.30
August/Agosto	24.48	13.28	202.70
September/Septiembre	25.05	10.32	38.70
October/Octubre	24.46	7.28	7.00
November/Noviembre	23.41	2.45	0.00

Data were obtained from the "Quinta Lupita" weather station, Regional Agricultural Union of Fruit Growers of the State of Chihuahua, Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico.

Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica "Quinta Lupita", Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua, Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

temperature of between 34.59 and 23.41 °C, a minimum of 16.56 and 2.45 °C, and rainfall of 108.44 mm were recorded (Table 1).

### Soil analysis

Before planting, soil samples were collected at random for analysis at the Soil, Water and Foliar Analysis Laboratory of the Agro-Technological Sciences Faculty of the Autonomous University of Chihuahua (Table 2). The samples were air-dried in the shade, sieved with No. 5, 10 and 20 mesh, and stored in 1-L plastic cans. The laboratory determinations were grouped into four categories (properties) with their respective parameters. We determined soil pH (in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> with a potentiometer [model 410, Thermo Orion™, USA]), salinity properties (saturation percentage and pH in saturated paste), electrical conductivity (RD-B15, Beckman solubridge, USA), nitrate content (brucine and colorimetry), assimilable phosphorus (Olsen and Bray P1 [Bray & Kurtz, 1945; Olsen, Cole, Watanabe, & Dean, 1954]), potassium, magnesium (both by atomic absorption spectrophotometry) and micronutrients (Fe, Mn, Ca, Cu and Zn, in DTPA and atomic absorption spectrophotometry).

### Experimental design and treatments

A randomized complete block experimental design with three fertilization treatments and four replicates was used. The treatments were: control FM1 (N, P and K, with 41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively), fertilization FM2 (N, P, K, S and Zn, with 41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively) and fertilization FM3 (N, P, K, S and Zn, with 45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). A single fertilization was carried out manually.

Cusihuirachi, Chihuahua, México, en el Rancho "San Pedro" (28° 14' 22.075" latitud norte y 106° 50' 1.907" longitud oeste, a 1997 msnm). La siembra se realizó el 25 de julio de 2017, y la cosecha se llevó a cabo el 8 de noviembre de 2017. La siembra se estableció en surcos de 0.30 m de altura y 0.8 m de ancho, con una distancia de 0.15 m entre planta y de 0.20 m entre surcos. Al momento de la siembra, se aplicó una fertilización a fondo. Durante el periodo de evaluación, se registraron promedios de temperatura máxima entre 34.59 y 23.41 °C, mínima de 16.56 y 2.45 °C, y precipitación de 108.44 de mm (Cuadro 1).

### Análisis de suelo

Antes de la siembra, se recolectaron muestras de suelo al azar para su análisis en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Foliar, de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (Cuadro 2). Las muestras se secaron al aire bajo la sombra, se tamizaron con mallas núm. 5, 10 y 20, y se almacenaron en botes de plástico de 1 L. Las determinaciones en laboratorio se agruparon en cuatro categorías (propiedades) con sus respectivos parámetros. Se determinó el pH del suelo (en CaCl<sub>2</sub> 0.01 M con un potenciómetro [modelo 410, Termo Orion™, EUA]), las propiedades de salinidad (porcentaje de saturación y pH en pasta saturada), la conductividad eléctrica (RD-B15, Beckman solubridge, EUA), el contenido de nitratos (brucina y colorimetría), fósforo asimilable (Olsen y Bray P1 [Bray & Kurtz, 1945; Olsen, Cole, Watanabe, & Dean, 1954]), potasio, magnesio (ambos por espectrofotometría de absorción atómica) y micronutrientes (Fe, Mn, Ca, Cu y Zn, en DTPA y espectrofotometría de absorción atómica).

**Table 2. Properties of the soil samples taken at a depth of 30 cm at “San Pedro” Ranch.****Cuadro 2. Propiedades de las muestra de suelo tomadas a 30 cm de profundidad en el Rancho “San Pedro”.**

Property/Propiedad	Value/Valor
pH (CaCl <sub>2</sub> 0.01M)	5.9
Electrical conductivity (ds·m <sup>-1</sup> )/Conductividad eléctrica (ds·m <sup>-1</sup> )	0.06
Clay (%)/Arcilla (%)	23.87
Silt (%)/Limo (%)	18.9
Cation exchange capacity (mol·kg <sup>-1</sup> )/Capacidad de intercambio catiónico (mol·kg <sup>-1</sup> )	14.63
Organic matter (%)/Materia orgánica (%)	0.92
Sand (%)/Arena (%)	57.21
N-NO <sub>3</sub> (kg·ha <sup>-1</sup> )	56.25
Potassium (ppm)/Potasio (ppm)	375
Calcium (ppm)/Calcio (ppm)	512.5
Phosphorus (kg·ha <sup>-1</sup> )/Fósforo (kg·ha <sup>-1</sup> )	18.50
Magnesium (ppm)/Magnesio (ppm)	462
Copper (ppm)/Cobre (ppm)	0.78
Iron (ppm)/Hierro (ppm)	3.94
Manganese (ppm)/Manganeso (ppm)	1.06
Zinc (ppm)	0.56

### Sampling

The harvest was carried out on November 8, 2017, and bean seed samples were taken from each of the treatments under physiological maturity conditions. The samples were taken to the Food and Development Research Center laboratory of the Agro-Technological Sciences Faculty for analysis.

### Nutritional quality analysis

The physicochemical composition of the beans was determined in accordance with the methodology of the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000), and in conformity with current Official Mexican Standards.

**Seed weight.** One hundred seeds were randomly taken from each treatment, weighed on an electronic scale (Velab™, USA) and the value recorded as g·100 seeds<sup>-1</sup>. The determination was made in triplicate.

**Seed dimensions.** These dimensions (length, width, and thickness) were determined with a Vernier caliper (122206, Surtek, USA). One hundred seeds were evaluated per treatment, and results were expressed in cm.

### Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres tratamientos de fertilización y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: testigo MF1 (N, P y K, con 41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente), fertilización MF2 (N, P, K, S y Zn, con 41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y fertilización MF3 (N, P, K, S y Zn, con 45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Se realizó una sola fertilización de manera manual.

### Muestreo

La cosecha se realizó el 8 de noviembre de 2017, y se tomaron muestras de semilla de frijol de cada uno de los tratamientos en condiciones de madurez fisiológica. Las muestras se trasladaron al laboratorio del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas para su análisis.

### Análisis de calidad nutricional

La composición físico-química del frijol se determinó de acuerdo con la metodología de la *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC, 2000), y conforme a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

**Seed color.** Color parameters were measured with a Konica Minolta chroma meter (CR-400/410, Japan) (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Measurements were made in triplicate.

**Protein.** Crude protein content was determined using the Microkjeldahl total nitrogen quantification procedure. The result was expressed as a percentage.

**Moisture.** It was determined using the open capsule drying method. The result was expressed as a percentage.

**Ash.** It was determined using the methodology reported in Mexican standard NMX-F-066-S-1978. 1 g of sample was placed in a crucible and brought to constant weight in a muffle furnace (SNOL 1100 LHM01, SNOL, Lithuania). Two replicates were performed per treatment. Results obtained were expressed as a percentage.

**Fats.** The Goldfish method (NMX-F-427-1982) was used for this determination. The results were expressed as a percentage.

**Fiber.** Crude fiber content was determined according to Mexican standard NMX-F-90-S-1978, for which the defatted sample was used and by weight difference the percentage of fiber contained in each sample was determined.

**Carbohydrates.** Quantification of carbohydrates was carried out by parameter difference (calculated based on total parameters). The result was reported as a percentage.

**Energy.** The energy contained in each sample was measured from the sum of the calories contained in carbohydrates, fats and proteins. Values were expressed in Kcal.

#### Nutritional quality analysis

**Sulfur.** The sulfur content was determined with a FLASH 2000 analyzer (Thermo Scientific™, USA), by placing 3 µg of sample and 9 µg of vanadium pentoxide in a nickel capsule. Analyses were performed in triplicate and the result was expressed in ppm, which was compared with the value of a known standard (Reussi-Calvo, Echeverría, & Sainz-Rozas, 2008).

**Fe, Zn, Na, Mg, Mn, K, Ca, Cu and Ni.** To start the analysis of these minerals, a digestion was performed using the triacid mixture method (1 L of HNO<sub>3</sub>, 100 mL of HClO<sub>4</sub> and 25 mL of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). The concentration of the minerals was determined by atomic absorption

**Peso de la semilla.** Se tomaron al azar 100 semillas de cada tratamiento, se pesaron en una balanza electrónica (Velab™, EUA) y se registró el valor como g-100 semillas<sup>-1</sup>. La determinación se realizó por triplicado.

**Dimensión de la semilla.** Las dimensiones del frijol (longitud, ancho y grosor) se determinaron con un vernier (122206, Surtek, EUA). Se evaluaron 100 semillas por tratamiento, y los resultados se expresaron en cm.

**Color de la semilla.** Se midieron los parámetros de color con un equipo Konica Minolta (Chroma Meter CR-400/410, Japón) (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Las mediciones se realizaron por triplicado.

**Proteína.** La determinación de la proteína cruda se realizó mediante el procedimiento de cuantificación de nitrógeno total por el método Microkjeldahl. El resultado se expresó en porcentaje.

**Humedad.** Se determinó a partir del método de secado en cápsula abierta. El resultado se expresó en porcentaje.

**Cenizas.** Se determinaron a partir de la metodología reportada en la norma mexicana NMX-F-066-S-1978. Se colocó 1 g de muestra en un crisol y se llevó a peso constante en una mufla (SNOL 1100 LHM01, SNOL, Lituania). Se realizaron dos repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.

**Grasas.** Para esta determinación se empleó el método Goldfish (NMX-F-427-1982). Los resultados se expresaron en porcentaje.

**Fibra.** La determinación de fibra cruda se realizó de acuerdo con la norma mexicana NMX-F-90-S-1978, para lo cual se empleó la muestra desengrasada y por diferencia de peso se determinó el porcentaje de fibra contenida en cada muestra.

**Carbohidratos.** La cuantificación de carbohidratos se realizó por diferencia de parámetros (calculado con base en el total de los parámetros). El resultado se reportó en porcentaje.

**Energía.** La energía contenida en cada muestra se midió a partir de la suma de las calorías contenidas en carbohidratos, grasas y proteínas. Los valores se expresaron en Kcal.

#### Análisis de calidad nutrimental

**Azufre.** El contenido de azufre se determinó con un analizador FLASH 2000 (Thermo Scientific™, EUA),

spectrophotometry (iCE™ 3500, Thermo Scientific™, USA). Results for micronutrients were expressed in ppm, and for macronutrients as a percent.

**Phosphorus.** P concentration was determined by the ammonium metavanadate ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) method and by visible light spectrophotometry (Jenway®). Results were expressed as a percentage.

### Profitability index

An agronomic estimate of the inputs used was made, and the cost of production and income from the sale of the product were calculated to determine the profitability of the work. The profitability ratio (benefit/cost) was calculated according to the following formula:

$$\text{Profitability } b/c = \frac{\text{Net profit}}{\text{Total cost}}$$

### Statistical Analysis

Data obtained were subjected to an analysis of variance and Tukey's range test ( $P \leq 0.05$ ) using SAS Institute (2002) version 9.0 statistical software.

## Results and discussion

### Yield

Crop yield is the result of environment-genotype interaction and the influence of agronomic management, particularly fertilization management

para lo cual se colocaron 3  $\mu\text{g}$  de muestra y 9  $\mu\text{g}$  de pentaóxido de vanadio en una capsula de níquel. Los análisis se realizaron por triplicado y el resultado se expresó en ppm, el cual se comparó con el valor de un estándar conocido (Reussi-Calvo, Echeverría, & Sainz-Rozas, 2008).

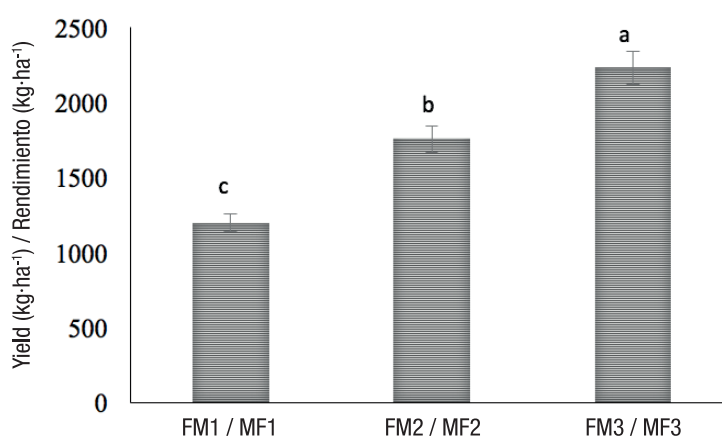
Fe, Zn, Na, Mg, Mn, K, Ca, Cu y Ni. Para iniciar el análisis de estos minerales, se realizó una digestión por el método de mezcla triácida (1 L de  $\text{HNO}_3$ , 100 mL de  $\text{HClO}_4$  y 25 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). La concentración de los minerales se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (iCE™ 3500, Thermo Scientific™, EUA). Los resultados de los micronutrientes se expresaron en ppm, y de los macronutrientes en porcentaje.

**Fósforo.** La concentración del P se determinó por el método de metavanadato de amonio ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) y por espectrofotometría de luz visible (Jenway®). Los resultados se expresaron en porcentaje.

### Índice de rentabilidad

Se realizó un estimado agronómico de los insumos que se utilizaron, y se calculó el costo de producción y el ingreso por la venta del producto para determinar la rentabilidad del trabajo. La relación de rentabilidad (beneficio/costo) se calcula de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\text{Rentabilidad } b/c = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Costo total}}$$



**Figure 1.** 'Pinto Centauro' bean yield under different fertilization management schemes: control FM1 (N, P and K, with 41, 46 and 22  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively), fertilization FM2 (N, P, K, S and Zn, with 41, 46, 22, 12 and 1  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively) and fertilization FM3 (N, P, K, S and Zn, with 45, 60, 22, 22 and 1.5  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively). The vertical lines on each bar correspond to the standard deviation. Means with equal letters between bars do not differ statistically (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

**Figura 1.** Rendimiento del frijol 'Pinto Centauro' bajo diferentes manejos de fertilización: testigo MF1 (N, P y K, con 41, 46 y 22  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente), fertilización MF2 (N, P, K, S y Zn, con 41, 46, 22, 12 y 1  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente) y fertilización MF3 (N, P, K, S y Zn, con 45, 60, 22, 22 y 1.5  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente). Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar. Medias con letras iguales entre barras no difieren estadísticamente (LSD,  $P \leq 0.05$ ).

(Barrios-Ayala, Turrent-Fernández, Ariza-Flores, Otero-Sánchez, & Michel-Aceves, 2008). In the present study, significant differences were observed in the yield of 'Pinto Centauro' beans due to the effect of fertilization. The FM3 treatment had a 46.26 % higher yield than the control (Figure 1).

Yield magnitude indicates the level of efficiency of a combination of factors influencing the harvest (Amezcu-Romero & Lara-Flores, 2017). In recent studies, significant increases in crop yield have been observed with the addition of NPK + SZn, with the application of S-Zn being of great relevance in boosting bean yield (Moniruzzaman et al., 2008). The addition of S-Zn in a fertilization program has a physiological and biochemical influence on plant processes, such as enzymatic activation, chlorophyll formation, electron transport and stomatal regulation, which positively impacts the growth, development and yield of the plant (Rahman et al., 2014).

The result obtained in this study was significant, since the average bean yield under rainfed conditions in Mexico is 1,500 kg·ha<sup>-1</sup>. Jiménez-Galindo and Acosta-Gallegos (2013) obtained yields of 1,484 to 1,192 kg·ha<sup>-1</sup>, with increases of 20.8 % in the Pinto Saltillo variety; a similar trend was reported by Salinas-Ramírez, Escalante-Estrada, Rodríguez-González, and Sosa-Montes (2013). Pérez-Trujillo and Galindo-González (2003) report that it is possible to obtain yields of 2,715 kg·ha<sup>-1</sup> in irrigated systems and of 726 kg·ha<sup>-1</sup> in rainfed systems, which is lower than the yields obtained in this study.

## Nutritional quality

### Physical properties

Quality is the set of chemical and physical characteristics related to the nutritional value of beans (Mederos, 2006). The results obtained with fertilization management in the 'Pinto Centauro' bean crop in the physical variables showed a differential behavior in the three treatments tested (Table 3). FM3 showed a significant increase of 2.88 % in Hue, 20.85 % in weight and 11.59 % in length, compared to FM1. These parameters are related to quality. The increase in Hue is due to the content and distribution of pigments in the testa, which are determined by the amount of glycosides, anthocyanins and tannins. A change in the testa can be interpreted as an adaptive strategy to germinate under various environmental conditions (Tenorio-Galindo, Rodríguez-Trejo, & López-Ríos, 2008).

Seed quality is an indicator of bean conditions, since its commercial value is influenced by characteristics such as size, color and uniformity (Mederos, 2006).

## Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con ayuda del programa estadístico SAS Institute (2002) versión 9.0.

## Resultados y discusión

### Rendimiento

El rendimiento de los cultivos es el resultado de la interacción ambiente-genotipo y la influencia del manejo agronómico, particularmente el manejo de la fertilización (Barrios-Ayala, Turrent-Fernández, Ariza-Flores, Otero-Sánchez, & Michel-Aceves, 2008). En el presente estudio, se observaron diferencias significativas en el rendimiento de frijol 'Pinto Centauro' por efecto de la fertilización. El tratamiento MF3 presentó un rendimiento 46.26 % mayor al obtenido con el testigo (Figura 1).

La magnitud del rendimiento indica el nivel de eficiencia de la combinación de factores que influyen en la cosecha (Amezcu-Romero & Lara-Flores, 2017). En estudios recientes se han observado aumentos significativos en el rendimiento de los cultivos con la adición de NPK + SZn, siendo la aplicación de S-Zn de gran relevancia para potenciar el rendimiento en frijol (Moniruzzaman et al., 2008). La adición de S-Zn en un programa de fertilización influye a nivel fisiológico y bioquímico en los procesos de la planta, como la activación enzimática, la formación de clorofila, el transporte de electrones y la regulación de las estomas, lo que impacta positivamente en el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de la planta (Rahman et al., 2014).

El resultado obtenido en este estudio fue significativo, ya que el rendimiento promedio de frijol en condiciones de temporal en México es de 1,500 kg·ha<sup>-1</sup>. Jiménez-Galindo y Acosta-Gallegos (2013) obtuvieron valores de 1,484 a 1,192 kg·ha<sup>-1</sup>, con incrementos de 20.8 % en la variedad Pinto Saltillo; una tendencia similar fue reportada por Salinas-Ramírez, Escalante-Estrada, Rodríguez-González, y Sosa-Montes (2013). Pérez-Trujillo y Galindo-González (2003) mencionan que es posible obtener rendimientos de 2,715 kg·ha<sup>-1</sup> en sistemas bajo riego y de 726 kg·ha<sup>-1</sup> en temporal, que es más bajo que los rendimientos obtenidos en este estudio.

## Calidad nutricional

### Propiedades físicas

La calidad es el conjunto de características químicas y físicas relacionadas con el valor nutricional del



**Table 3. Physical parameters of 'Pinto Centauro' beans in response to fertilization treatments.****Cuadro 3. Parámetros físicos del frijol 'Pinto Centauro' en respuesta a los tratamientos de fertilización.**

Treatment/ Tratamiento	Color			100-seed weight (g)/ Peso de 100 semillas (g)	Width (cm)/ Ancho (cm)	Thickness (cm)/ Grueso (cm)	Length (cm)/ Largo (cm)
	L	Chroma/ Croma	Hue				
FM1/MF1	66.15 a <sup>z</sup>	15.83 a	71.16 b	30.47 c	0.80 b	0.47 a	1.22 b
FM2/MF2	67.31 a	16.34 a	72.24 ab	34.54 b	0.81 b	0.49 a	1.28 b
FM3/MF3	67.66 a	16.69 a	73.27 a	38.54 a	0.89 a	0.51 a	1.38 a

FM1 = control with N, P and K (41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM2 = fertilization with N, P, K, S and Zn (41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM3 = fertilization with N, P, K, S and Zn (45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

MF1 = testigo con N, P y K (41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF2 = fertilización con N, P, K, S y Zn (41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF3 = fertilización con N, P, K, S y Zn (45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Bean width values were higher than those obtained by Urías-López, Álvarez-Bravo, Hernández-Fuentes, and Pérez-Barraza (2017), who report an average value of 0.74 mm. Large seeds are more accepted in the packaging industry, so producers and rural collectors prefer this type of bean and give it a higher value (Rosales-Serna et al., 2012).

### Chemical properties

The nutritional properties of beans are related to their high protein content (Ulloa, Rosas-Ulloa, Ramírez-Ramírez, & Ulloa-Rangel, 2011). The effect of fertilization management showed significant differences ( $P \geq 0.05$ ) among treatments. Results indicate that application of the FM3 treatment increased fiber content by 20.29 %, energy by 1.5 % and protein content by 8.35 % compared to FM1 (Table 4).

Velasco-González, San Martín-Martínez, Aguilar-Méndez, Pajarito-Ravelero, and Mora-Escobedo (2013) evaluated the physicochemical properties of 'Villa' bean in the INIFAP-Durango experimental field, and obtained an ash value of 4.63 %, which is lower than those obtained in this work. This is probably due to the different varieties and environmental conditions.

Barrios-Gómez and López-Castañeda (2007) note that moisture prevents the bean from becoming brittle and losing quality. In this sense, the FM3 treatment significantly increased ( $P \geq 0.05$ ) the percentage of moisture compared to the control. Odedeji and Oyelke (2011) report fiber values ranging from 0.65 to 5.10 %, the range in which the values obtained in this study are found (Table 4). As for carbohydrates, it can be seen that the values obtained in this work are higher than those found by Fernández-Valenciano and Sánchez-Chávez (2017), with an average value of

frijol (Mederos, 2006). Los resultados obtenidos con el manejo de la fertilización en el cultivo de frijol 'Pinto Centauro' en las variables físicas mostraron un comportamiento diferencial en los tres tratamientos probados (Cuadro 3). El MF3 mostró un aumento significativo de 2.88 % en Hue, 20.85 % en peso y 11.59 % en longitud, con respecto al MF1. Estos parámetros están relacionados con la calidad. El incremento en Hue se debe al contenido y distribución de pigmentos en la testa, los cuales están determinados por la cantidad de glicósidos, antocianinas y taninos. Un cambio en la testa se puede interpretar como una estrategia adaptativa para germinar en diversas condiciones ambientales (Tenorio-Galindo, Rodríguez-Trejo, & López-Ríos, 2008).

La calidad de la semilla es un indicador de las condiciones del grano, ya que su valor comercial está influenciado por características como el tamaño, el color y la uniformidad (Mederos, 2006). Los valores del ancho del frijol fueron superiores a los obtenidos por Urías-López, Álvarez-Bravo, Hernández-Fuentes, y Pérez-Barraza (2017), quienes reportan un valor promedio de 0.74 mm. Las semillas grandes son más aceptadas en la industria del embalaje, por lo que los productores y recolectores rurales prefieren este tipo de granos y les otorgan un valor superior (Rosales-Serna et al., 2012).

### Propiedades químicas

Las propiedades nutricionales del frijol están relacionadas con su alto contenido de proteínas (Ulloa, Rosas-Ulloa, Ramírez-Ramírez, & Ulloa-Rangel, 2011). El efecto del manejo de la fertilización mostró diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos. Los resultados indican que la aplicación del tratamiento MF3 aumentó 20.29 % el contenido

**Table 4. Physicochemical composition of 'Pinto Centauro' beans in response to fertilization management. Cuadro 4. Composición físico-química del frijol 'Pinto Centauro' en respuesta al manejo de la fertilización.**

Treatment/ Tratamiento	Physical-chemical parameters (%)/Parámetros físico-químicos (%)						Energy (Kcal)/ Energía (Kcal)
	Ash/ Ceniza	Fat/ Grasa	Moisture/ Humedad	Fiber/ Fibra	Carbohydrates/ Carbohidratos	Protein/ Proteína	
FM1/MF1	4.70 a <sup>z</sup>	1.05 c	11.16 c	2.67 b	59.34 a	17.87 c	324.62 b
FM2/MF2	4.80 a	1.22 b	11.84 b	3.31 a	60.65 a	18.36 b	326.62 b
FM3/MF3	4.92 a	1.28 a	12.14 a	3.35 a	61.13 a	19.50 a	329.48 a

FM1 = control with N, P and K (41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM2 = fertilization with N, P, K, S and Zn (41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM3 = fertilization with N, P, K, S and Zn (45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

MF1 = testigo con N, P y K (41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF2 = fertilización con N, P, K, S y Zn (41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF3 = fertilización con N, P, K, S y Zn (45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

39.02 %. Mollinedo-Patzi and Benavides-Calderón (2014) indicate that carbohydrates are a fundamental part of the diet, and in this study the energy obtained is within the required intake values.

Mederos (2006) points out that the increased protein in beans, due to fertilization management, is related to the ability of Zn to form proteins, so this mechanism is affected by the deficiency of this element in plants. Ulloa et al. (2001) indicate that, depending on the type of bean, the protein content ranges from 14 to 33 % under normal irrigation conditions. Salinas-Ramírez et al. (2013) obtained similar protein values (18.90 %) under rainfed conditions. The nutritional quality of the bean is mainly valued for its protein content, since beans are one of the main sources of protein in the diet, which is relevant in Mexico because there is a high level of malnutrition (Sangerman-Jarquín, Acosta-Gallego, Schwenstesius-de Rindermann, Damián-Huato, & Larqué-Saavedra, 2010).

### Nutritional content

Microelements such as Zn are essential for optimal plant growth. The results obtained for macro and micronutrients were significant ( $P \geq 0.05$ ) (Table 5). With the FM3 treatment, the beans showed an increase of 74 % in phosphorus, 9.45 % in magnesium, 16.30 % in iron and 39.77 % in Zn, compared to the control.

Beans obtained with the FM3 treatment showed significant statistical differences in Zn concentration compared to the other treatments. However, the values obtained were slightly lower (from 20.47 to 33.99 ppm) than those reported by Celmeli et al. (2018), who conducted a study in Turkey with 10 local varieties (obtaining values from 17.81 to 37.90 mg·kg<sup>-1</sup>) and some varieties from international companies (obtaining values from 25.03 to 35.1 mg·kg<sup>-1</sup>) under controlled greenhouse conditions. It is important to consider that the data in this work were

de fibra, 1.5 % la energía y 8.35 % el contenido de proteínas en comparación con el MF1 (Cuadro 4).

Velasco-González, San Martín-Martínez, Aguilar-Méndez, Pajarito-Ravelero, y Mora-Escobedo (2013) evaluaron las propiedades físico-químicas del frijol 'Villa' en el campo experimental INIFAP-Durango, y obtuvieron un valor de cenizas de 4.63 %, que es más bajo que los obtenidos en este trabajo. Lo anterior se debe, probablemente, a las diferentes variedades y condiciones ambientales.

Barrios-Gómez y López-Castañeda (2007) mencionan que la humedad evita que el grano se vuelva quebradizo y pierda calidad. En este sentido, el tratamiento MF3 incrementó significativamente ( $P \geq 0.05$ ) el porcentaje de humedad en comparación con el testigo. Odedeji y Oyelke (2011) reportan valores de fibra que oscilan entre 0.65 y 5.10 %, rango en el que se encuentran los valores obtenidos en este estudio (Cuadro 4). En cuanto a los carbohidratos, se puede apreciar que los valores obtenidos en este trabajo son superiores a los encontrados por Fernández-Valenciano y Sánchez-Chávez (2017), con un valor promedio de 39.02 %. Mollinedo-Patzi y Benavides-Calderón (2014) indican que los carbohidratos son una parte fundamental de la dieta, y en este estudio la energía obtenida está dentro de los valores de ingesta requeridos.

Mederos (2006) señala que el aumento de proteína en el frijol, a partir del manejo de la fertilización, está relacionado con la capacidad del Zn para formar proteínas, por lo que este mecanismo se ve afectado por la deficiencia de dicho elemento en las plantas. Ulloa et al. (2001) indican que, dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteína varía de 14 a 33 % en condiciones normales de riego. Salinas-Ramírez et al. (2013) obtuvieron valores similares de proteína (18.90 %) en condiciones de temporal. La calidad nutricional del grano se valora, principalmente, por su contenido de proteína, ya que los frijoles son

obtained under rainfed conditions, and that the soil had a Zn content lower than 1 ppm. Another factor that may have influenced the results is the soil pH, since it was acidic and that hinders Zn assimilation.

Cakmak and Kutman (2017) note that Zn concentrations in the bean should be between 20 and 35 mg·kg<sup>-1</sup>, with an average value of 28 to 30 mg·kg<sup>-1</sup>. When beans are grown in Zn-deficient soils, concentrations of this element in the bean are <10 mg·kg<sup>-1</sup>. However, when the soil is rich in Zn, or is fertilized with Zn, the concentrations of this element in the bean are 20 mg·kg<sup>-1</sup>. Therefore, the results obtained in this study, considering that it is a rainfed crop, show an effect of fertilization management.

Estrada-Domínguez, Márquez-Quiroz, de la Cruz-Lázaro, Osorio-Osorio, and Sánchez-Chávez (2018) state that 61 mg·kg<sup>-1</sup> are established as a critical level of Zn in plants to make it sufficient in human nutrition. The required Zn intake in the human diet is 11 mg per day, and cooked beans provide only 1.4 mg (Rodríguez-Castillo & Fernández-Rojas, 2003). This nutrient is essential in more than 300 enzymes, which are involved in all important biochemical reactions in the human body. Zn has a direct effect on growth, neurological development, behavior, and the immune system (López-de Romaña, Castillo, & Diazgranados, 2010).

The FM3 treatment resulted in an increase in phosphorus and iron content in the bean, reaching an average iron value of 89.99 ppm; this value is five times higher than the value of 50 ppm reported by Tofiño-Rivera, Pastrana-Vargas, Melo-Ríos, Beebe, and Tofiño-Rivera (2016). Some biofortification studies have been carried out to increase the iron content in bean, since it provides about 40 % of the

una de las principales fuentes de proteína en la dieta, lo cual es relevante en México debido a que existe un alto nivel de desnutrición (Sangerman-Jarquín, Acosta-Gallego, Schwenstesius-de Rindermann, Damián-Huato, & Larqué-Saavedra, 2010).

### Contenido nutrimental

Los microelementos como el Zn son esenciales para el crecimiento óptimo de una planta. Los resultados obtenidos de los macro y micronutrientes fueron significativos ( $P \geq 0.05$ ) (Cuadro 5). Con el tratamiento MF3, los granos presentaron un aumento de 74 % en fósforo, 9.45 % en el magnesio, 16.30 % en hierro y 39.77 % en Zn, en comparación con el testigo.

Los granos obtenidos con el tratamiento MF3 presentaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de Zn en comparación con los otros tratamientos. Sin embargo, los valores obtenidos fueron ligeramente inferiores (de 20.47 a 33.99 ppm) a los reportados por Celmeli et al. (2018), quienes realizaron un estudio en Turquía con 10 variedades locales (obteniendo valores de 17.81 a 37.90 mg·kg<sup>-1</sup>) y algunas variedades de compañías internacionales (obteniendo valores de 25.03 a 35.1 mg·kg<sup>-1</sup>) bajo condiciones controladas en el invernadero. Es importante considerar que los datos obtenidos en este trabajo fueron en condiciones de temporal, y que el suelo presentó un contenido de Zn inferior a 1 ppm. Otro factor que pudo haber influido en los resultados es el pH del suelo, ya que era ácido y eso dificulta la asimilación del Zn.

Cakmak y Kutman (2017) mencionan que las concentraciones de Zn en el grano de frijol deberían oscilar entre 20 y 35 mg·kg<sup>-1</sup>, con un valor promedio de 28 a 30 mg·kg<sup>-1</sup>. Cuando el frijol se cultiva en suelos

**Table 5. Concentration of macronutrients in 'Pinto Centauri' beans in response to different fertilization management schemes.**

**Cuadro 5. Concentración de macronutrientes en frijol 'Pinto Centauro' en respuesta a diferentes manejos de fertilización.**

Treatment/ Tratamiento	Macronutrients (%)/Macronutrientes (%)					Micronutrients (ppm)/Micronutrientes (ppm)					
	N	P	K	Mg	Ca	Cu	Ni	Mn	Fe	Zn	S
FM1/MF1	2.29 a <sup>2</sup>	0.074 c	1.55 b	0.173 b	0.211 a	3.96 a	2.31 a	20.24 a	72.78 b	20.47 c	21.34 b
FM2/MF2	2.52 a	0.177 b	1.67 b	0.173 b	0.274 a	4.41 a	2.58 a	21.77 a	78.32 ab	28.97 b	22.82 b
FM3/MF3	2.59 a	0.289 a	1.73 a	0.183 a	0.299 a	4.77 a	2.74 a	22.10 a	86.96 a	33.99 a	23.88 a

FM1 = control with N, P and K (41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM2 = fertilization with N, P, K, S and Zn (41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM3 = fertilization with N, P, K, S and Zn (45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

MF1 = testigo con N, P y K (41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF2 = fertilización con N, P, K, S y Zn (41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF3 = fertilización con N, P, K, S y Zn (45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

iron in the diet of people who base their diet on this legume. However, it is estimated that only 20 % of the total iron present in the bean is assimilated, so its contribution is low, and if the iron content of the bean is poor, assimilation will be even lower (Mederos, 2006). García-Alanís et al. (2019) note that a person requires 8 mg of iron per day, and cooked beans provide only 1.36 mg·100 g<sup>-1</sup>. Some studies indicate that bioavailability is associated with iron content, suggesting that there is no simultaneous increase in substances that interfere with absorption, and that providing a higher iron concentration in bean varieties is an effective strategy (Welch, House, Beebe, & Cheng, 2000).

### Profitability index

The results obtained in the economic study, which determined the profitability of applying fertilization in a 'Pinto Centauro' bean crop, reveal that the best treatment was FM3, since it had a higher production value (profit) and a b/c yield of 4.6, improving the gross profit by 55 % (Table 6).

The above results indicate a favorable response to fertilization management in 'Pinto Centauro' beans in the agricultural fields of the Chihuahua region, Mexico. Ugalde-Acosta, Tosquy-Valle, López-Salinas, and Francisco-Nicolás (2011) carried out irrigation and mineral fertilization in beans, and obtained a b/c ratio of 1.80, with a gain of 20 cents per peso invested. In this study, the FM3 treatment allowed increasing

deficientes de Zn, las concentraciones de este elemento en el grano son <10 mg·kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, cuando el suelo es rico en Zn, o es fertilizado con Zn, las concentraciones de dicho elemento en el grano son de 20 mg·kg<sup>-1</sup>. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio, considerando que se trata de un cultivo de temporal, muestran un efecto del manejo de la fertilización.

Estrada-Domínguez, Márquez-Quiroz, de la Cruz-Lázaro, Osorio-Osorio, y Sánchez-Chávez (2018) mencionan que 61 mg·kg<sup>-1</sup> están establecidos como nivel crítico de Zn en las plantas para que sea suficiente en la nutrición humana. La ingesta requerida de Zn en la dieta humana es de 11 mg por día, y el frijol cocido aporta únicamente 1.4 mg (Rodríguez-Castillo & Fernández-Rojas, 2003). Este nutriente es esencial en más de 300 enzimas, las cuales participan en todas las reacciones bioquímicas importantes del cuerpo humano. El Zn tiene un efecto directo en el crecimiento, el desarrollo neurológico, el comportamiento y el sistema inmune (López-de Romaña, Castillo, & Diazgranados, 2010).

El tratamiento MF3 favoreció el aumento del contenido de fósforo y hierro en el grano de frijol, al alcanzar un valor promedio de hierro de 89.99 ppm; este valor es cinco veces mayor al reportado por Tofiño-Rivera, Pastrana-Vargas, Melo-Ríos, Beebe, y Tofiño-Rivera (2016) de 50 ppm. Se han realizado algunos estudios de biofortificación para incrementar el contenido de hierro en el grano de frijol, ya que

**Table 6. Profitability and production costs of fertilization management in 'Pinto Centauro' beans.**

**Cuadro 6. Rentabilidad y costos de producción del manejo de la fertilización en frijol 'Pinto Centauro'.**

Activities / Actividades	Treatment / Tratamiento		
	FM1 / MF1	FM2 / MF2	FM3 / MF3
Production costs (\$ MXN) / Costos de producción (\$ MXN)	5,546.00	5,683.00	5,683.00
Cost of money (4.5 %)* / Costo del dinero (4.5 %)*	237.33	256.27	256.27
Total costs / Costos total	5783.83	5,939.27	5,939.27
Yield (kg·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento (kg·ha <sup>-1</sup> )	1,200	1,757	2,233
Production value (\$15.00 MXN·kg <sup>-1</sup> ) / Valor de la producción (\$15.00 MXN·kg <sup>-1</sup> )	18,000.00	26,355.00	33,495.00
Net profit (\$ MXN) / Utilidad neta (\$ MXN)	12,216.17	20,415.73	27,555.72
b/c profitability / Rentabilidad b/c	2.1	3.4	4.6

FM1 = control with N, P and K (41, 46 and 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM2 = fertilization with N, P, K, S and Zn (41, 46, 22, 12 and 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively); FM3 = fertilization with N, P, K, S and Zn (45, 60, 22, 22 and 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectively). \*4.5 % was considered for five months of interest.

MF1 = testigo con N, P y K (41, 46 y 22 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF2 = fertilización con N, P, K, S y Zn (41, 46, 22, 12 y 1 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente); MF3 = fertilización con N, P, K, S y Zn (45, 60, 22, 22 y 1.5 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente). \*Se consideró 4.5 % por cinco meses de intereses.

the profit for the producer and recovering the investment cost.

Fertilization management is a feasible alternative that can be used to increase the productivity of 'Pinto Centauro' beans in rainfed soils. The results suggest that fertilization management with FM3 treatment, in addition to increasing the nutritional content of the bean, is an alternative with higher income for the farmer, since it obtains higher yields and better quality beans.

## Conclusions

Fertilization management with the FM3 treatment increased yield by 46.26 % compared to the control; in addition, protein increased by 8.35 %, phosphorus by 74 %, iron by 16.3 % and zinc by 39.77 %.

The profitability index showed an increase of 4.6 %, with an improvement in quality and profit. Therefore, fertilization management can be a viable alternative to improve rainfed bean cultivation conditions in semi-arid regions of Mexico and the world, resulting in an increase in bean yield and nutritional value.

## Acknowledgments

The authors thank the National Council of Science and Technology (CONACyT - Mexico) for the support provided through the call for Attention to National Problems with project no. 1529 entitled "Biofortification of basic agricultural crops that represents the key to combating malnutrition and ensuring food security in Mexico", and the Mosaic Company for the donation of fertilizers.

*End of English version*

## References / Referencias

- Amezcuca-Romero, J. C., & Lara-Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 28-35. Retrieved from [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68\\_3/PDF/zinc\\_plantas.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf)
- Barrios-Ayala, A., Turrent-Fernández, A., Ariza-Flores, R., Otero-Sánchez, M., & Michel-Aceves, A. (2008). Interacción genotipos x prácticas de manejo en el rendimiento de grano de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 85-90. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172008000100010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000100010)
- Barrios-Gómez, E. D., & López-Castañeda, C. (2007). Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia*, 43(1), 29-35. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/302/30211438004.pdf>

este grano aporta cerca del 40 % del hierro en la dieta de las personas que basan su alimentación en esta leguminosa. No obstante, se estima que del total de hierro presente en el frijol sólo se asimila el 20 %, por lo que su contribución es baja, y si el contenido de hierro en el grano es pobre, la asimilación será aún menor (Mederos, 2006). García-Alanís et al. (2019) mencionan que una persona requiere 8 mg de hierro por día, y el frijol cocido aporta únicamente 1.36 mg·100 g<sup>-1</sup>. Algunos estudios indican que la biodisponibilidad está asociada con el contenido de hierro, lo que sugiere que no hay un aumento simultáneo de sustancias que interfieran con la absorción, y que proporcionar una mayor concentración de hierro en las variedades de frijol es una estrategia efectiva (Welch, House, Beebe, & Cheng, 2000).

## Índice de rentabilidad

Los resultados obtenidos en el estudio económico, en donde se determinó la rentabilidad de aplicar fertilización en frijol 'Pinto Centauro', revelan que el mejor tratamiento fue el MF3, ya que presentó un mayor valor de producción (ganancias) y un rendimiento b/c de 4.6, mejorando la ganancia bruta en 55 % (Cuadro 6).

Los resultados anteriores indican una respuesta favorable en el manejo de la fertilización en frijol 'Pinto Centauro' en los campos agrícolas de la región de Chihuahua, México. Ugalde-Acosta, Tosquy-Valle, López-Salinas, y Francisco-Nicolás (2011) realizaron riegos y fertilización mineral en frijol, y obtuvieron una relación b/c de 1.80, con una ganancia de 20 centavos por peso invertido. En este estudio, el tratamiento MF3 permitió aumentar la utilidad para el productor y recuperar el costo de inversión.

El manejo de la fertilización es una alternativa factible que se puede emplear para aumentar la productividad del frijol 'Pinto Centauro' en los suelos de temporal. Los resultados obtenidos sugieren que el manejo de la fertilización con el tratamiento MF3, además de aumentar el contenido nutricional del frijol, es una alternativa con mayores ingresos para el agricultor, ya que se obtiene un mayor rendimiento y granos de mejor calidad.

## Conclusiones

El manejo de la fertilización con el tratamiento MF3 incrementó 46.26 % el rendimiento en comparación al testigo; además, aumentó 8.35 % la proteínas, 74 % el fósforo, 16.3 % el hierro y 39.77 % el zinc. El índice de rentabilidad presentó un incremento de 4.6 %, con una mejora en la calidad y el beneficio. Por lo tanto, el manejo de la fertilización puede ser una alternativa viable para mejorar las condiciones de cultivo de frijol en regiones de temporal de regiones semiáridas de

- Beintema, J. J., Gallego-Castillo, S., Londoño-Hernández, L. F., Restrepo-Manjarres, J. & Talsma, E. (2018). Scaling-up biofortified beans high in iron and zinc through the school-feeding program: A sensory acceptance study with schoolchildren from two departments in southwest Colombia. *Food Science & Nutrition*, 6(4), 1138-1145. doi: 10.1002/fsn3.632
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59(1), 39-45. Retrieved from [https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1945/01000/Determination\\_of\\_Total,\\_Organic,\\_and\\_Available.6.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1945/01000/Determination_of_Total,_Organic,_and_Available.6.aspx)
- Cakmak, I., & Kutman, U. B. (2017). Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 172-180. doi: 10.1111/ejss.12437
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Dari, D., Adak, A., Eker, T., & Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, 8(9), 166-175. doi: org/10.3390/agronomy8090166
- Estrada-Domínguez, V., Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., & Sánchez-Chávez, E. (2018). Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con zinc: efecto en el rendimiento y contenido mineral. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 20, 4149-4160. doi: 10.29312/remexca.v0i20.986
- Fernández-Valenciano, A. F., & Sánchez-Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*, 9(18), 133-148. doi: 10.21640/ns.v9i18.763
- García-Alanís, K., Baéz-González, J. B., Gallardo-Rivera, C. T., García-Solano, N. F., Walle-Castro, A. V., Martínez-García, M. K., & Hernández-Cortés, N. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y efecto de la cocción en propiedades nutricionales del frijol *Vigna umbellata* Thumb. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 81-86. Retrieved from <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/1/11.pdf>
- García-Bañuelos, M. L., Sida-Arreola, J. P., & Sánchez-Chávez, E. (2014). Biofortification-promising approach to increasing the content of Iron and Zinc in staple food crops. *Journal of Elementology*, 19, 865-888. doi: 10.5601/jelem.2014.19.3.708
- Hidoto, L., Taran, B., Worku, W., & Mohammed, H. (2017). Towards zinc biofortification in chickpea: performance of chickpea cultivars in response to soil zinc application. *Agronomy*, 7(1), 11-20. doi: 10.3390/agronomy7010011
- Hossein, K. P., Mohammad, A. B., Hemmatollah, P., & Mohammad, A. S. (2008). Effects of Zn rates and application forms on protein and some micronutrients accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11, 1042-1046. doi: 10.3923/pjbs.2008.1042.1046
- Jiménez-Galindo, J. & Acosta-Gallegos, J. (2013). Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y tépari México y el mundo, lo que resulta en un aumento en el rendimiento y el valor nutricional del grano.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT - México) por el apoyo brindado a través de la convocatoria Atención a Problemas Nacionales con el proyecto núm. 1529 titulado "Biofortificación de cultivos agrícolas básicos que representa la clave para combatir la desnutrición y garantizar la seguridad alimentaria en México", y a la empresa Mosaic, Co. por la donación de fertilizantes.

### Fin de la versión en español

(*Phaseolus acutiolius* A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 557-567. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000400006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000400006)

- Khoshgoftarmansh, A. H., Schulin, R., Chaney, R. L., Daneshbakhgn, B., & Afyuni, M. (2010). Micronutrient efficient cultivars for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 83-107. doi: 10.1051/agro/2009017
- López-de Romaña, D., Castillo, D. C., & Diazgranados, D. (2010). EL Zinc en la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(2), 234-239. doi: 10.4067/S0717-75182010000200013
- Márquez-Quiroz, C., de la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez-Chávez, E., Huijara-Vasconcelos, J. J., & Sida-Arreola, J. P. (2018). Zinc content and yield of biofortified cowpea beans. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 20, 4150-4160. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9nspe20/2007-0934-remexca-9-spe20-4175-en.pdf>
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 39-48. doi: 10.4206/agrosur.2014.v42n2-07
- Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Topicales*, 27(3), 55-62. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825009.pdf>
- Mollinedo-Patzi, M. A., & Benavides-Calderón, G. L. (2014). Carbohidratos. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 41, 2133-2136. Retrieved from [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682014000200002&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682014000200002&script=sci_arttext)
- Moniruzzaman, M., Islam, M. R., & Hassan, J. (2008). Effect of N P K S Zn and B on yield attributes and yield of French bean in South Eastern Hilly region of Bangladesh. *Journal of Agriculture & Rural Development*, 6(1), 75-82. doi: 10.3329/jard.v6i1.1660

- NMX-F-066-S-1978. (1978). *Norma Oficial Mexicana. Determinación de cenizas en alimentos*. México: Dirección General de Normas. Retrieved from <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>
- NMX-F-427-1982. (1982). *Norma Oficial Mexicana. Alimentos: Determinación de grasa (método de hidrólisis ácida)*. México: Dirección general de normas. Retrieved from <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-427-1982.PDF>
- NOM-F-90-S-1978. (1978). *Norma Oficial Mexicana. Determinación de fibra cruda en alimentos*. México: Dirección General de Normas. Retrieved from [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4799842&fecha=27/03/1979](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4799842&fecha=27/03/1979)
- Odedeji, J. O., & Oyeleke, W. A. (2011). Proximate, physicochemical and organoleptic properties of whole and dehulled cowpea seed flour (*Vigna unguiculata*). *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(12), 1175-1178. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012071479>
- Olsen, R. S., Cole, V. C., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- Pérez-Trujillo, H., & Galindo-González, G. (2003). Situación socioeconómica de los productores de frijol de temporal en zacatecas. *Terra Latinoamericana*, 21(1), 137-147. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321116.pdf>
- Rahman, I. U., Afzal, A., Iqbal, A., Ijaz, F., Sohail, S., Manan, S., & Afzal, M. (2014). Response of common bean (*Phaseolus vulgaris*) to basal applied and foliar feeding of different nutrients application. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 14(9), 851-854. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2014.14.09.12400
- Restrepo-Caro, C., Coronell, M. C., Arrollo, J., Martínez, G., Sánchez-Majana, L., & Sarmiento-Rubiano, L. A. (2016). La deficiencia de zinc: un problema global que afecta la salud y el desarrollo cognitivo. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 165-175. Retrieved from <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-2/#:~:text=Actualmente%20se%20conoce%20que%20las,celular%20que%20conllea%20a%20la>
- Reussi-Calvo, N. I., Echeverría, H. E., & Sainz-Rozas, H. (2008). Comparación de métodos de determinación de nitrógeno y azufre en planta: implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. *Ciencia Suelo*, 26(2), 161-167. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/317539382\\_Comparacion\\_de\\_metodos\\_de\\_determinacion\\_de\\_nitrogeno\\_y\\_azufre\\_en\\_planta\\_implicancia\\_en\\_el\\_diagnostico\\_de\\_azufre\\_en\\_trigo](https://www.researchgate.net/publication/317539382_Comparacion_de_metodos_de_determinacion_de_nitrogeno_y_azufre_en_planta_implicancia_en_el_diagnostico_de_azufre_en_trigo)
- Rodríguez-Castillo, L., & Fernández-Rojas, X. E. (2003). Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*): su aporte a la dieta del costarricense. *Acta Médica Costarricense*, 45(3), 120-125. Retrieved from [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-60022003000300007](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022003000300007)
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S., & Cruz-Contreras, A. C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*, 2(1), 121-145. Retrieved from [http://economia.uaemex.mx/Publicaciones/Ano2\\_Num1/Gabriela%20Rodriguez.pdf](http://economia.uaemex.mx/Publicaciones/Ano2_Num1/Gabriela%20Rodriguez.pdf)
- Rosales-Serna, R., Ibarra-Pérez, F. J., & Cuéllar-Robles, E. I. (2012). Pinto Centauro, nueva variedad de frijol para el estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1467-1474. doi: 10.29312/remexca.v3i7.1354
- Salinas-Ramírez, N., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., & Sosa-Montes, E. (2013). Rendimiento, calidad nutrimental y rentabilidad de frijol ejotero de temporal en San Pablo Ixayoc, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(3), 333-242. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.08.031
- Sangerman-Jarquín, D. M., Acosta-Gallego, J. A., Schwenstesius-de Rindermann, R., Damián-Huato, M. A., & Larqué-Saavedra, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3) 363-380. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300007)
- SAS Institute. (2002). *Users guide version 9.0*. Cary, N.Y.: Author.
- Shivay, Y. S., Prasad, R., & Pal, M. (2014). Genetic variability for Zinc use efficiency in chickpea as influenced by Zinc fertilization. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*, 5(1), 31-36. doi: 10.5958/j.0976-4038.5.1.005
- Tenorio-Galindo, G., Rodríguez-Trejo, D. A., & López-Ríos, G. (2008). Effect of seed size and color on germination of *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42(5), 585-593. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952008000500010&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952008000500010&script=sci_abstract&tlng=en)
- 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 frijol biofortificado en el Caribe seco colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 309-329. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449946663001>
- Ugalde-Acosta, F. J., Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., & Francisco-Nicolás, N. (2011). Productividad y rentabilidad del cultivo de frijol con fertirriego en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 29-36. Retrieved from [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov22n01\\_029.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov22n01_029.pdf)
- Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2011). El frijol su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5-9. Retrieved from <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/582>

- Urías-López, M. A., Álvarez-Bravo, A., Hernández-Fuentes, L. M., & Pérez-Barraza, M. H. (2017). *Aportaciones científicas para la horticultura mexicana*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from [http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones\\_nuevas/Aportaciones%20cient%C3%ADficas%20para%20la%20horticultura%20Mexicana.pdf](http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Aportaciones%20cient%C3%ADficas%20para%20la%20horticultura%20Mexicana.pdf)
- Velasco-González, O., San Martín-Martínez, E., Aguilar-Méndez, M., Pajarito-Ravelero, A., & Mora-Escobedo, R. (2013). Propiedades físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L). *Bioagro*, 25(3), 161-166. Retrieved from [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612013000300002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300002)
- Welch, R., House, W., Beebe, S., & Cheng, Z. (2000). Genetic selection for enhanced Bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3576-3580. doi: 10.1021/jf0000981
- Yin, X., Yuan, L., Liu, Y., & Lin, Z. (2012). Phytoremediation and biofortification: two sides of one coin. In: Yin, X., & Yuan, L. (Eds.), *Phytoremediation and Biofortification* (pp. 1-6). Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-1439-7