

# **Respuesta del cultivo de frijol común a bajo contenido de fósforo en el suelo: Revisión de Literatura**

**Ricardo Sebastian Chávez Romero**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Honduras**  
Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

# **Respuesta del cultivo de frijol común a bajo contenido de fósforo en el suelo: Revisión de Literatura**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Ricardo Sebastian Chávez Romero**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

# Respuesta del cultivo de frijol común a bajo contenido de fósforo en el suelo: Revisión de Literatura

Presentado por

Ricardo Sebastian Chávez Romero

Aprobado:



---

Raphael Wesly Colbert, Ph.D.  
Asesor Principal



---

Rogel Castillo, M.Sc.  
Director  
Departamento Ciencia y  
Producción Agropecuaria



---

Gloria Gauggel (Nov 12, 2020 16:05 CST)

Gloria E. Arévalo, Dra.  
Asesora



---

Luis Fernando Osorio, Ph.D  
Vicepresidente y Decano Académico



---

Iveth Rodriguez (Nov 12, 2020 21:03 CST)

Iveth Yassmin Rodriguez, M.Sc.  
Asesora

## **Respuesta del cultivo de frijol común a bajo contenido de fósforo en el suelo: Revisión de literatura**

**Ricardo Sebastian Chávez Romero**

**Resumen.** El frijol común es la principal fuente de proteína para la población rural y urbana de menores ingresos en Centroamérica y el Caribe. Al menos el 60% de los frijoles en América Latina y el 50% en África se cultivan en suelos severamente deficientes en fósforo. El objetivo fue investigar en la literatura los efectos del nivel bajo de fósforo en el suelo y los requerimientos para la producción del cultivo de frijol común. Para realizar esta revisión de literatura, la información se generó a través de varias fuentes bibliográficas tales como libros, artículos científicos, folletos e informes de investigación que estuvieron disponibles para consultar. Los resultados indican que la baja disponibilidad de fósforo en el suelo puede ocasionar cambios en el sistema y estructura radicular, en busca de mayor contenido de fósforo. El crecimiento y floración se ven retrasadas, el número de semillas por vaina y el número de flores se ven reducidas. También se encontró que ciertos factores como, el tipo de suelo, pH, salinidad y humedad, influyen de manera directa al nivel de fósforo en el suelo. El requerimiento de fósforo del cultivo de frijol varía entre 15 a 35 kg por hectárea. En conclusión, se puede decir que el frijol común depende del suministro del nivel de fósforo y al tener baja disponibilidad de este nutriente en el suelo, afectará el crecimiento y desarrollo, lo que causa bajos rendimientos en la producción.

**Palabras Clave:** Baja fertilidad, desarrollo, rendimiento, requerimientos de fertilizantes, suelo tropical.

**Abstract.** Common beans are the main source of protein for the lower-income rural and urban population in Central America and the Caribbean. At least 60% of beans in Latin America and 50% in Africa are grown on soils severely deficient in phosphorus. The objective was to investigate in the literature the effects of the low level of phosphorus in the soil and the requirements to produce the common bean crop. To carry out this literature review, the information was generated through various bibliographic sources such as books and scientific articles, brochures and research reports that were available for consultation. The results indicate that the low availability of phosphorus in the soil can cause changes in the root system and structure, in search of a higher phosphorus content. Growth and flowering are delayed, the number of seeds per pod and the number of flowers is reduced. It was also found that certain factors such as the type of soil and pH, salinity and humidity, directly influence the level of phosphorus in the soil. The phosphorus requirement of the bean crop varies between 15 to 35 kg per hectare. In conclusion, it can be said that the common bean depends on the supply of the level of phosphorus and having low availability of this nutrient in the soil, it will affect growth and development, which causes low yields in production.

**Key Words:** Development, fertilization requirements, low fertility, tropical soil, yield.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Índice General .....	iv
Índice de Cuadros y Figuras.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Fertilización de fósforo de acuerdo a su disponibilidad en el suelo.....	6
2. Efecto de diferentes niveles de fósforo sobre la incidencia de enfermedades en frijol común.....	10

Figuras	Página
1. Producción de frijol en el mundo entre 1999 y 2018.....	3
2. Área cosechada de frijol entre 1999 y 2018.....	4
3. Efectos de los niveles de fósforo en el rendimiento en grano de frijol.....	6
4. Efecto de diferentes dosis de fósforo sobre la cantidad de materia seca del frijol común.....	7
5. Especies químicas de fósforo predominantes acorde con el pH del suelo .....	8
6. Efecto de diferentes dosis de fósforo sobre el peso de nódulos en frijol común.....	14

# 1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la principal fuente de proteína para la población rural y urbana de menores ingresos en Centroamérica y el Caribe (Rosas *et al.* 2000). El frijol es cultivado principalmente en una agricultura a pequeña escala, en la que los pequeños agricultores con recursos insuficientes son dependientes de los patrones de precipitación de las lluvias y bajo uso de insumos lo que favorece el desarrollo de enfermedades resultando en rendimientos bajos e inestables.

En suelos de baja fertilidad de las regiones tropicales, la disponibilidad de fósforo suele tener una limitación primaria para la producción de frijol. Varios autores reportan al menos el 60% de los frijoles en América Latina y el 50% en África se cultivan en suelos severamente deficientes en fósforo (Wortmann y Allen 1994). La cantidad de fósforo ( $P_2O_5$ ) que puede absorber el cultivo de frijol es de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ . Este cultivo requiere de un pH de 5.5 a 7, una humedad relativa moderada, temperaturas óptimas de 20 a 25 °C, una pluviosidad de 350 a 600 mm y suelos de preferencia francos arcillosos y francos arenosos (Bautista 2012).

El desarrollo radicular adecuado permite reducir y amortiguar los efectos de la deshidratación en las plantas, así, la profundización de la raíz les permite explorar un mayor volumen de suelo y extraer agua de horizontes inferiores, cuando las raíces superficiales ya han agotado el agua disponible en estratos superiores del suelo (Khan *et al.* 2010). Los efectos de la deficiencia de fósforo se pueden ver reflejado como, retraso en la floración, poco desarrollo radicular, tallos cortos y delgados y retraso en el crecimiento vegetativo (INTAGRI 2017). En la mayoría de los casos, los fertilizantes no están disponibles o accesibles para los pequeños agricultores en estas regiones y pueden ser solo marginalmente efectivos debido a la fijación del fósforo por óxidos de Fe y Al y alófanos (Sample *et al.* 1980).

En su mayoría las fincas de los pequeños productores de frijol están ubicadas en laderas y suelos marginales deficientes en nitrógeno, fósforo y otros nutrientes. Además, por razones socioeconómicas el acceso a fertilizantes y el uso de prácticas de manejo y conservación de suelo son escasamente implementadas, a pesar del conocimiento de los agricultores de su beneficio potencial (Graham *et al.* 2003). Bajo estas condiciones limitantes de suelo, se recomienda el uso de variedades más tolerantes a la baja fertilidad y de mejor respuesta a insumos limitados, desarrolladas mediante métodos adecuados de mejoramiento genético. Los objetivos de la presente investigación fueron:

- Proporcionar información sobre las investigaciones existentes para el cultivo de frijol común, de acuerdo con su importancia mundial y regional.
- Identificar el requerimiento de fósforo para la producción del frijol común.
- Identificar el efecto de la deficiencia de fósforo para la producción del frijol.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este documento, se realizó una profunda revisión de literatura acerca de la producción del cultivo de frijol en los trópicos. Se dividió el documento en varios temas principales:

**Importancia del frijol en el mundo.** Se destaca cuáles son los países que más consumen y producen el cultivo. Y como ha ido incrementando la producción de frijol desde el año 1999 hasta el 2018.

**Suelo y condiciones climáticas.** Se consideraron los factores que favorecen y limitan la producción de frijol.

**Factores limitantes a la producción del frijol.** Se mencionan las consecuencias que podría presentar el cultivo de frijol al estar bajo ciertos factores como: pH, salinidad y estrés hídrico.

**Principales enfermedades limitantes en el frijol común.** Se describen las enfermedades que tienen un daño más significativo en la producción del cultivo de frijol y las enfermedades más comunes.

**El fósforo y la fisiología del frijol.** Se destaca cuáles son los efectos de la deficiencia del frijol en el crecimiento y desarrollo del cultivo, también menciona la importancia del fósforo en la nodulación y los métodos que se podrían implementar para contrarrestar las deficiencias de fósforo. Tras la lectura de cada fuente donde se encontraba información, se realizaba resúmenes para capturar de mejor forma la información que sería mayormente útil para la realización de este documento. También, se generó la información a través de varias fuentes bibliográficas tal como libros, tesis, artículos científicos, folletos e informes de investigación que se asimilaron al tema y que fueron disponibles en línea para consultar.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Importancia del frijol en el mundo

El frijol, es la leguminosa alimenticia más importante para el consumo humano en el mundo. América Latina es el principal consumidor y productor de este cultivo, ya que los frijoles forman una gran parte de la dieta de la población y porque son un alimento tradicional, mientras que, en África, se cultiva el frijol para sobrevivir ya que en este continente hay pobreza extrema y este cultivo cuenta con muchos nutrientes y proteínas necesarias para el cuerpo humano (Jones 1999). La cantidad anual de frijol producido en el mundo desde 1999 al 2018, ha incrementado cada año, cerca de 18 millones de toneladas en 1999 y más de 30 millones de toneladas en los años 2017 y 2018, lo que muestra un gran crecimiento en este sector agrícola en las últimas décadas a nivel mundial (Figura 1). El área cosechada a nivel mundial desde 1999 hasta 2018, indica que ha incrementado en el tiempo, esto debido a que más personas recurren a este tipo de cultivo para ser agregado entre sus alimentos esenciales (Figura 2).

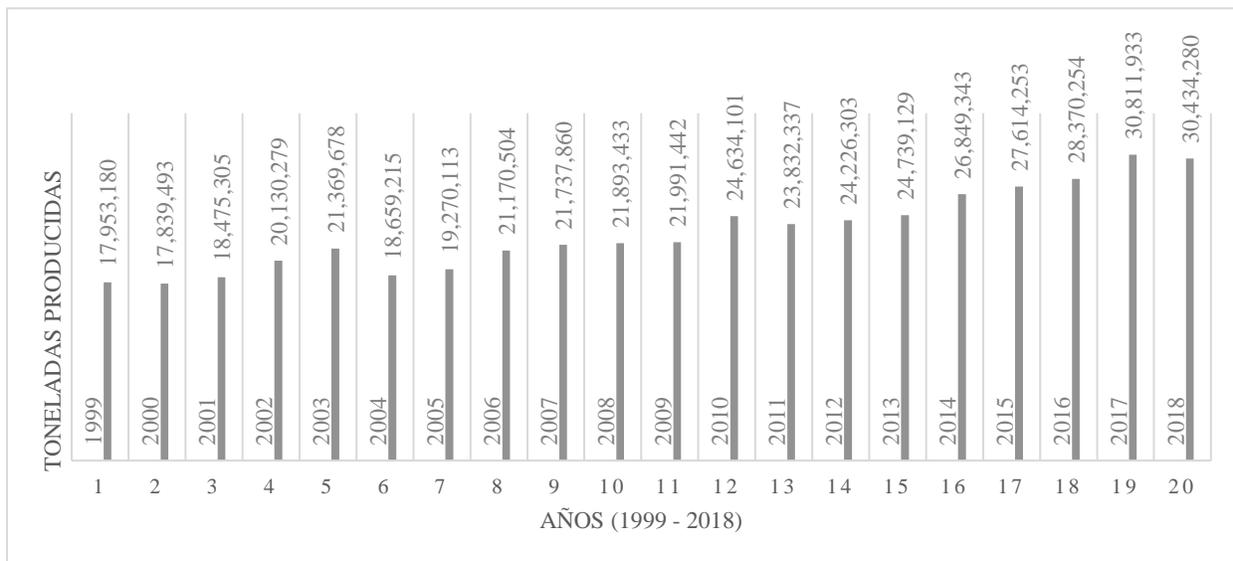


Figura 1. Producción de frijol en el mundo entre 1999 y 2018.

Fuente: FAO 2018.

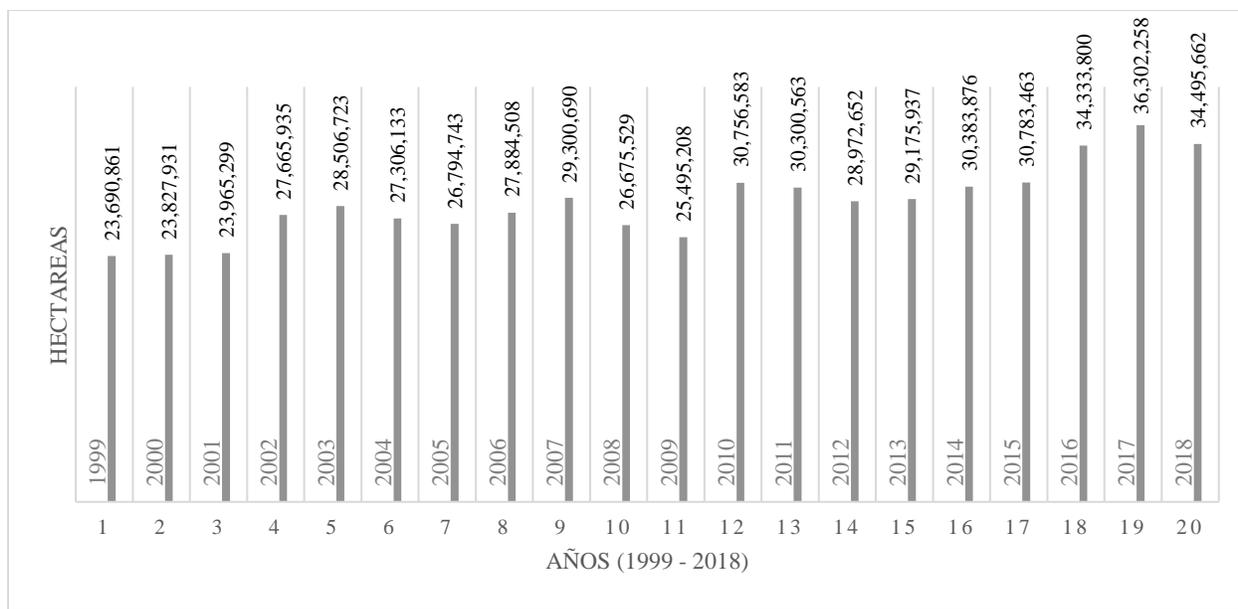


Figura 2. Área cosechada de frijol en el mundo entre 1999 y 2018.  
Fuente: FAO 2018.

Los países que tienen una mayor producción de frijol a nivel mundial son: Brasil, India, Myanmar, China, México y Estados Unidos y los países como Estados Unidos y China son los que tienen un mayor rendimiento promedio en todo el mundo (Gaucín 2019). En Honduras, el frijol es cultivado en 16 de los 18 departamentos, pero en los que más se produce es en Olancho, Comayagua y El Paraíso (FAO 2018).

El cultivo de frijol es una fuente bien importante de proteína vegetal en los estatus o clases económicas que son bajas y que por esa razón no pueden conseguir proteína animal para su propia alimentación, además, el consumo de este alimento ayuda para el control de ciertas enfermedades, como: la reducción de niveles de colesterol en la sangre, en pacientes diabéticos auxilia el metabolismo, lo que ayuda a reducir los aumentos de niveles de glucosa en la sangre, además de que prevé en ciertos tipos de cáncer (Jarquín *et al.* 2010). La producción de este cultivo generalmente es realizada por pequeños productores, de la cual se generan innumerables empleos en este sector, por lo que, si se sigue aumentando la producción de este cultivo cada año, esto va a ser mucho más importante y beneficioso para las personas de bajos recursos que buscan empleos (Álvarez 2009).

### Suelos y condiciones climáticas en zonas tropicales

**Suelo.** El cultivo se puede desarrollar en suelos de orden ultisol e inceptisol, que son suelos de baja fertilidad, aunque de igual manera se puede desarrollar bien en suelos volcánicos o andisoles, que son suelos con una fertilidad moderada (Hernández 2009).

La profundidad de los suelos donde se vaya a cultivar el frijol debe de ser entre 35 a 40 centímetros para que tenga un libre espacio de desarrollo radicular y facilite la absorción de nutrientes, logrando así un desarrollo óptimo, el suelo de preferencia tiene que ser bien poroso, sin capas rocosas o compactadas y con buena aireación para que haya una adecuada filtración de agua y las raíces puedan moverse con mayor facilidad (FAO 2018). El pH óptimo para el cultivo de frijol esta entre 6 a 7.5, en suelo enarenado (aportación de suelos arcillosos o salinos) se desarrolla de forma favorable hasta 8.5 (Escoto 2011).

**Temperatura.** El clima propicio para el adecuado desarrollo del cultivo es el clima tropical y la temperatura que requiere esta entre 18 y 24 °C, aunque de igual forma este cultivo puede ser desarrollado a más altas y bajas temperaturas, solo que no tendría la misma producción que cuando se produce en sus temperaturas óptimas. La altura en la que se puede desarrollar el frijol oscila entre 200 a 2,900 metros (FAO 2018).

**Agua y humedad.** Este cultivo requiere entre 350 a 600 mm de precipitación a lo largo de su ciclo productivo, los días que más requiere agua, es en los 15 días antes de que ocurra el periodo de floración y los días donde se debe mantener lo más seco posible, es en los 15 días antes de cosecha, para asegurar una buena humedad de los granos (FAO 2018). Una humedad relativa muy alta hace que enfermedades de tipo aéreo se puedan desarrollar con más facilidad y también dificulta el proceso de fecundación en la planta. Una óptima humedad relativa durante la primera fase de este cultivo en un invernadero es del 60 al 65% y de acuerdo se va desarrollando el cultivo, puede aumentar entre 65 al 75% (Peralta *et al.* 2010).

**Fertilización.** Para este cultivo es importante realizar una buena nutrición mineral, ya que, a partir de ese punto se obtiene un excelente rendimiento o uno muy malo. El nitrógeno en el frijol es el de más importancia, fósforo no se requiere en gran cantidad, pero cabe recalcar que este nutriente no se encuentra siempre disponible en todos los suelos, por lo que de igual forma se debe realizar su debida aplicación, acorde a lo que indique el análisis de suelo, potasio y calcio son otros nutrientes que se necesitan en grandes cantidades en el cultivo de frijol (Hernández 2009). Los requerimientos nutricionales promedio que se requiere para el cultivo de frijol, están entre 20 y 50 kg por hectárea de Nitrógeno, 40 y 80 kg por hectárea de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o 15 y 35 kg por hectárea de fósforo y entre 10 y 70 kg por hectárea de K<sub>2</sub>O, estas cantidades de nutrientes aportados a la planta de frijol van a depender de las cantidades que se encuentran presentes en el suelo, que se obtiene mediante el análisis de suelo realizado en un laboratorio y de la producción. La mayor absorción de N, P, y K ocurre entre los 30 y 45 días y es recomendable fertilizar cuando recién es sembrado el cultivo o una semana después de la siembra (Hernández 2009). La cantidad de la dosificación de fertilizante depende del nivel de fertilidad o contenido de fósforo en el suelo, por lo que se debe aplicar más cantidades por hectárea en las zonas donde presenta un reducido nivel de fósforo en el suelo del cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fertilización de fósforo de acuerdo con su disponibilidad en el suelo

Nivel de fertilidad	Contenido de fósforo del suelo (g/ L)	Dosis de fertilizante (sacos 50 kg)/ ha	
		10-30-10	12-24-12
Bajo	0 - 10	5-6	6,5
Medio	11- 20	3-4	4,5
Alto	> 20	2	2,5

Fuente: Hernández 2009.

Los distintos niveles de aplicación de fósforo modifican el rendimiento en grano del cultivo de frijol, siendo el nivel de 200 kg por hectárea, el que mejor rendimiento tuvo. A una menor cantidad de fósforo, el rendimiento del grano de frijol fue mucho menor (Figura 3). Sin embargo, el rendimiento sube rápidamente hasta aplicar 100 kg de  $P_2O_5$ /ha, cuando se alcanza 2,500kg/ha. Duplicar la dosis a 200 kg de  $P_2O_5$ /ha, no logra sino aumentar 100 kg/ha, por lo cual es recomendable no aplicar más de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha bajo estas condiciones (Talavera 1988).

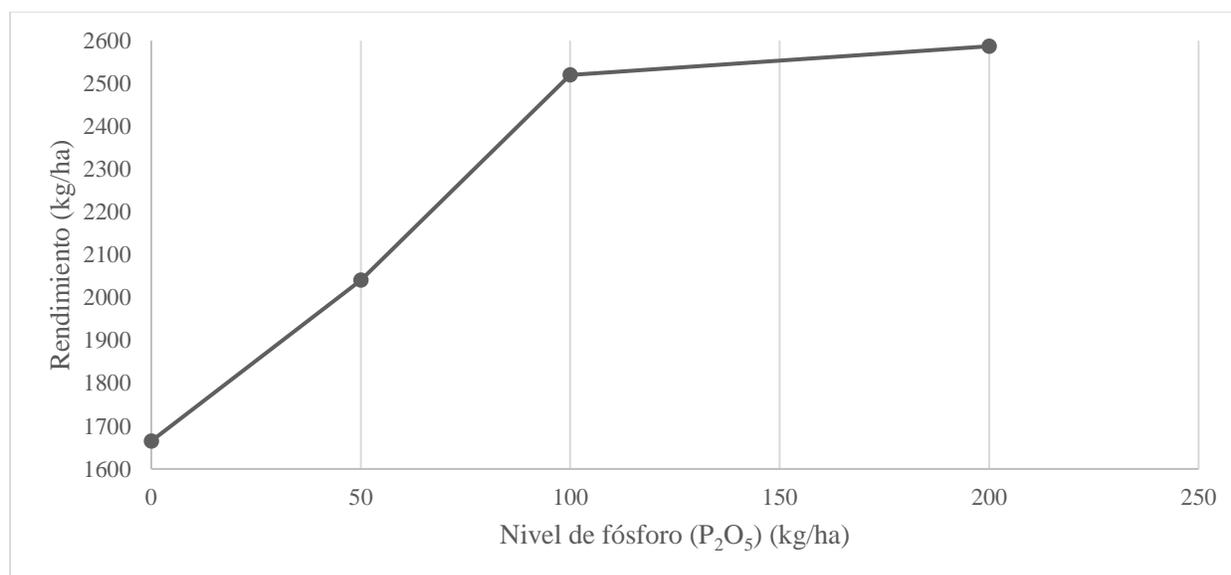


Figura 3. Efectos de los niveles de fósforo en los rendimientos en grano de frijol

Fuente: Talavera 1988.

El efecto de aplicar diferentes dosis de fósforo sobre la cantidad de materia seca del cultivo de frijol común se logra notar en los resultados de la investigación, donde la mayor cantidad de materia seca del frijol común se dio cuando hubo una aplicación de 20 kg/ha, siendo este un cambio significativo en comparación con donde no hubo aplicación (Turuko y Mohammed 2014).

También se observó que, a una elevada cantidad de aplicación de fósforo, hubo efectos decrecientes en comparación a la aplicación de 20 kg/ha, llegando a la conclusión que, no necesariamente se debe de realizar una aplicación elevada de fósforo para obtener una mayor cantidad de materia seca de frijol común (Figura 4) (Turuko y Mohammed 2014).

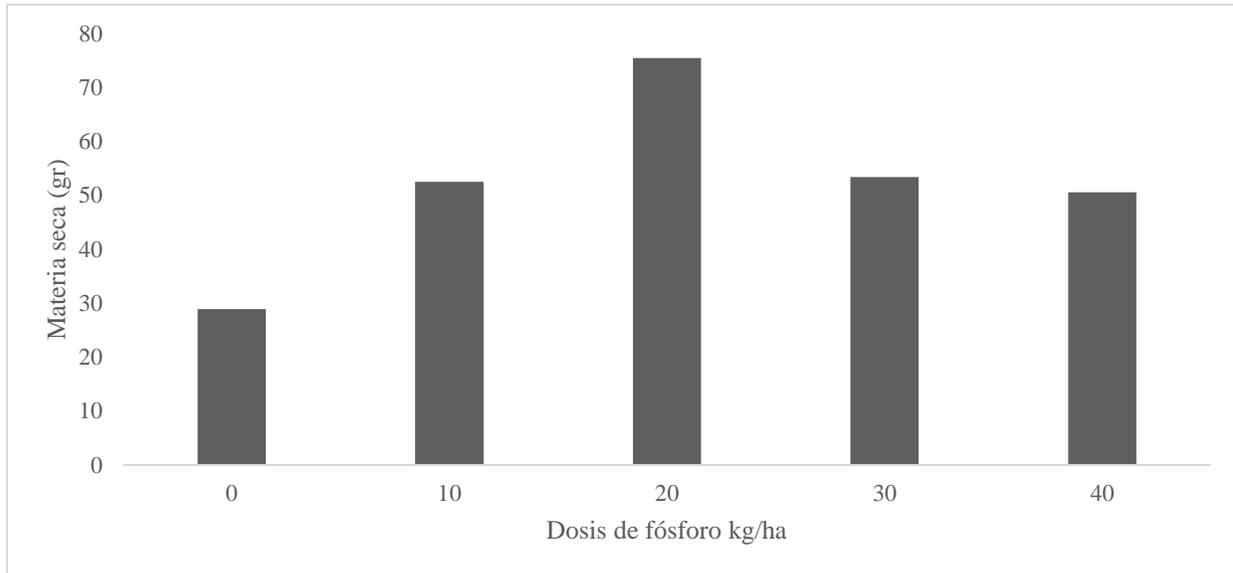


Figura 4. Efecto de diferentes dosis de fósforo sobre la cantidad de materia seca del frijol común. Fuente: Turuko y Mohammed 2014.

**Nivel de fósforo.** El contenido de fósforo en estas zonas, en mayor parte tiene mucho más que lo que el cultivo requiere para su desarrollo, pero la principal causa por la que este nutriente no se encuentre muy disponible, es que el fósforo tiene una baja movilidad, por lo que se puede decir que, la disponibilidad de fósforo va a depender directamente de las propiedades físicas y químicas del suelo y también por el buen desarrollo y estructura de las raíces del cultivo, ya que al no tener dichas especificaciones, será difícil que la planta pueda absorber la cantidad de fósforo necesario para su desarrollo (Neumann y Römheld 2002). Una alta fijación de fósforo existe en zonas tropicales, aproximadamente en 1,018 millones de hectáreas, aunque también hay zonas como en suelos meteorizados y suelos con cenizas volcánicas, de los cuales presentan una alta fijación de este nutriente (Osorio 2014). La desventaja que tiene el fósforo en el cultivo es que se agota mucho más rápido de lo que se repone en el suelo, esto se debe a que la movilidad de fósforo en procesos como el flujo de masas o por difusión son en pocas cantidades (Lynch y Brown 2008). Las principales formas en las que se puede encontrar el fósforo en la mayoría de los suelos son absorbidos en oxihidroxidos de Fe y Al o también pueden ser encontrados en fracciones ocluidas (Yang *et al.* 2013). Generalmente la cantidad de fósforo presente en el suelo puede estar entre 50 a 500 mg kg<sup>-1</sup>, pero en suelos que son derivados de cenizas volcánicas como son los Andisoles, puede estar entre 2,000 a 3,000 mg kg<sup>-1</sup>, aun así, en suelos como oxisoles, ultisoles y andisoles son bajas las cantidades de fósforo que se encuentran disponibles para el cultivo (Osorio 2014). A causa de las altas concentraciones de óxidos de Fe y Al y de la acidez en suelos tropicales, la disponibilidad de fósforo se ve disminuida (Edelstein y Tonjes 2012).

**pH.** El nivel de pH del suelo será de suma importancia conocerlo, ya que en un rango intermedio los nutrientes presentes en el suelo estarán disponibles, por arriba de ese rango, se puede reducir la disponibilidad de micronutrientes y por debajo del rango, nutrientes como el fósforo, nitrógeno, azufre y calcio se pueden llegar a reducir. Cuando en el suelo está presente un pH de 6.5, las plantas pueden llegar a conseguir fosfatos monos y dibásicos, esto se debe a que a este pH hay menor precipitación de fosfatos de aluminio y calcio (Sylvia *et al.* 1995).

El pH del suelo puede llegar a ser modificado, debido a las concentraciones de fertilizantes que se les aplica a los cultivos, los suelos agrícolas son más propensos que los suelos forestales a que se realice este cambio de pH (Carneiro *et al.* 2004). El proceso de captación entre cationes y aniones hace que el pH en la zona de la rizosfera sufra algunos cambios (Marschner 1995). Tras investigaciones se ha observado que en un pH de 3 a 7, se encuentra presente el  $H_2PO_4$ , el cual es la especie química del fósforo en el suelo, esta especie es transportada gracias a las proteínas transportadoras, que están ubicadas en la interfaz que desarrolla la membrana celular (Marschner 1995).

Las dos especies químicas de fósforo,  $(H_2PO_4)$  y  $(H_2PO_4)^2$ , de acuerdo al nivel de pH que exista en el suelo, se encontrará disponible de manera soluble para el cultivo, por lo que, a un pH más ácido se va a encontrar  $H_2PO_4$  en mayor cantidad y en pH más alcalinos se va a encontrar  $(H_2PO_4)^2$ , por lo que se puede decir, que el fósforo al estar presente en el suelo, el pH no impedirá que pueda ser absorbible por el cultivo (Figura 5).

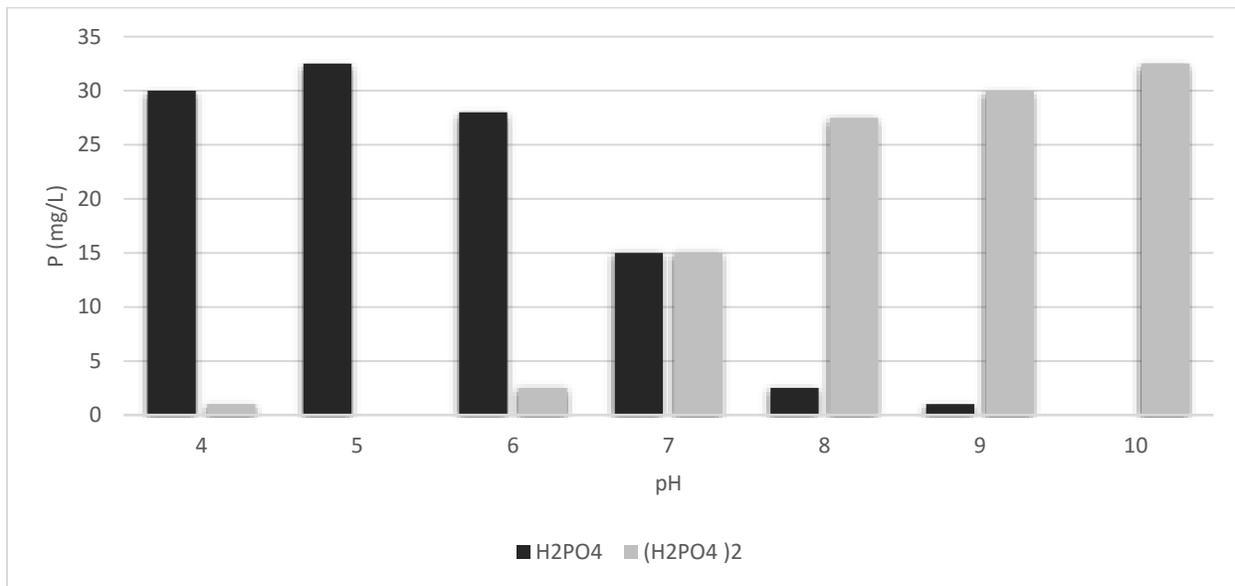


Figura 5. Especies químicas de fósforo predominantes acorde al pH del suelo  
Fuente: Yadav *et al.* 2012.

## Factores limitantes a la producción del frijol

**Deficiencia de fósforo en el suelo.** El fósforo es fundamental para que las raíces puedan tener un buen crecimiento y fortalecimiento, por lo que ayudaría a la planta para que tenga un crecimiento más rápido, al tener deficiencia de este nutriente afectará directamente en el rendimiento de granos del cultivo, retrasará la floración y se verá reducido el número de flores y semillas por vaina (Suquilanda 1996).

La deficiencia de este nutriente fomenta el uso del fósforo que se encuentra almacenado en la vacuola y su movilización hacia las estructuras que se encuentran en desarrollo (Jeschke *et al.* 1997). Los ácidos cítricos y málicos son tipos de ácidos orgánicos, los cuales se les estimula su producción y secreción al tener baja presencia de fósforo (Asmar *et al.* 1995). Además, los niveles de glucosa, fructosa, sacarosa y almidón que se encuentran en hojas y raíces son alteradas debido a la poca cantidad de fósforo en el suelo (Bernal *et al.* 2007). La deficiencia de fósforo produce que se disminuya el contenido de clorofila, la cual provocaría que no capte demasiada luz la planta (Singh *et al.* 2017).

Como consecuencia de tener deficiencia de fósforo, se ha establecido que la forma o arquitectura radicular de la planta de frijol puede presentar varios tipos de cambios primarios, tales como la ramificación que ocurre con las raíces secundarias que depende del crecimiento de la raíz principal, otro cambio, es el aumento en el crecimiento que ocurre en las raíces laterales (Lynch y Brown 2001).

Otras consecuencias causadas por la deficiencia son: la restricción que ocurre en la elongación, división y un incremento celular en los ápices meristemáticos del frijol, disminución de la tasa fotosintética y del pool de fósforo sobrante, cambios que ocurren en las relaciones hídricas y en la conductancia estomática (Fujita *et al.* 2003).

La presencia de la forma química de fósforo influye en la incidencia de enfermedades en el cultivo de frijol común, por lo que, a mayor cantidad de fósforo, va a haber una mayor incidencia de enfermedades y cuando hay una deficiencia de fósforo, la incidencia de enfermedades es mucho menor (Cuadro 2) (Talavera 1988).

Cuadro 2. Efecto de diferentes niveles de fósforo sobre la incidencia de enfermedades en frijol común

Nivel (kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Incidencia (1 a 5)
0	1.33
50	2.5
100	3.5
200	3.92

Fuente: Talavera 1988.

**Estrés hídrico.** El rendimiento en el 60% de la producción mundial de frijol es reducido y esto se debe a que se producen en condiciones con estrés hídrico, por lo que es un factor bien importante que se debe tomar en cuenta si se quiere elevar el rendimiento en el cultivo (Singh 1995). Las características físicas y productivas del cultivo se ven favorecidas al no tener un estrés hídrico, tales como, altura, diámetro de tallo, trifolios, biomasa seca, producción de vainas y semillas (RCTA 2017). Al momento en el que el cultivo se le presentan condiciones a las cuales no tolera, como el estrés hídrico y las altas temperaturas, causa que las membranas del cultivo estén propensas a tener más daños y también aumenta el contenido de prolina libre (Cabrera 2011). Existen ciertas etapas en las cuales hay que tener mucho cuidado con el frijol, ya que es mucho más sensible al tener estrés hídrico y calor, puede verse afectado el inicio de la floración, llenado de grano y el crecimiento de vainas, por lo tanto, tener estrés hídrico puede causar múltiples problemas en el desarrollo y producción del cultivo (Rainey y Griffiths 2005). Unas de las afectaciones que causa el estrés hídrico en el cultivo de frijol, es que impide que ciertas zonas de la planta puedan acumular materia seca, zonas tales como, fitomeros, ramas y área foliar en general, por lo que el peso seco también se verá reducido (Kohashi *et al.* 2002).

Al tener el cultivo de frijol bajo condiciones de estrés hídrico, el inicio de la floración se reduce un 65% en comparación a las plantas que no están en zonas con estrés hídrico, la conductancia estomática y fotosíntesis, de igual forma fueron unas de las consecuencias que acarrea el cultivo de frijol al estar presente a estrés hídrico (Núñez *et al.* 1998). El estrés hídrico también impide que la actividad meristemática se realice con normalidad, por lo que, esto trae problemas en el volumen y elongación de las raíces del cultivo de frijol (Madueño *et al.* 2006).

**Salinidad.** La salinidad en el suelo puede llegar a darse en ciertas ocasiones cuando la evapotranspiración del cultivo es superior a las lluvias, aunque también hay casos donde la evapotranspiración es mayor pero no necesariamente causa una acumulación de sales en la zona radicular del cultivo. Cuando la cantidad de sales que se encuentra en el suelo es mucho mayor a la cantidad que necesita normalmente la planta, esto causará que el cultivo al tener este impedimento deje de absorber agua, ya que el contenido de sales que tiene en las células de la planta es mucho menor al contenido que se encuentra en el agua del suelo. Una de las causas por las que se tiene exceso de salinidad en los suelos, es el drenaje, cuando no se tiene un buen drenaje en el campo, esto provoca que se acumulen gran cantidad de sales en el suelo y, por ende, también provoca toxicidad en el cultivo. El rendimiento y el crecimiento del cultivo se ven sumamente afectados al estar presentes en zonas con alto contenido de sales, aunque esto depende, ya que cada cultivo soporta el contenido de sales en el suelo de manera diferente, algunos ya están adaptados a esas zonas, mientras otros cultivos son más sensibles a la presencia de salinidad. Lo más usual, es ver este tipo de suelos salinos en áreas de preferencia secas, aunque existen algunos factores que influyen para que se presenten en diferentes zonas en el mundo (Harter y Motis 2016).

Cuando en la zona radicular del cultivo se tiene una alta concentración de sales, esto provoca que la planta use mucha más energía de la usual para absorber agua, ocasionando que en algún punto esta zona deje de absorber el agua, siendo perjudicial para el cultivo, ya que se marchitará. La salinidad en los suelos puede ser ocasionada por un mal uso de los fertilizantes en el cultivo, la mayoría de los fertilizantes tienen una gran cantidad de sales, unos más que otros, por lo que, al usarlos de manera incorrecta, hará que esas sales se vayan acumulando hasta llegar al punto en el que será perjudicial para la planta (Sela 2020).

**Interacción entre salinidad y pH.** Factores, tales como el pH, contenido de sales solubles, humedad del suelo y el contenido de sodio, al estar presentes, hacen que los suelos tengan problemas con sales, ocasionando de tal manera un estrés para el cultivo (Harter y Motis 2016). Cuando el  $\text{NaHCO}_3$  se encuentra en el suelo de un algún cultivo, puede generar algunos cambios químicos como, en el efecto osmótico y ocasiona que el pH del suelo se haga más alcalino, por lo que, dichos cambios ocasionan algunos problemas en la planta, como los procesos metabólicos en las células y en la actividad de enzimas (Yildirim *et al.* 2006). En los casos en que se presentan variaciones de pH y presencia de sales, provoca que se realicen múltiples cambios para la planta, como una reducción en la disponibilidad de nutrientes, debido a un reducido potencial de agua alrededor de la planta, las células realizan un ajuste osmótico, este proceso se hace, acumulando solutos orgánicos o iones inorgánicos dentro de los tejidos de la planta, todos estos cambios hacen que la producción del cultivo se vea afectada y reducida (Janick 1994). En zonas donde el suelo se encuentre con un pH superior a 8.2, es muy probable que se presenten inconvenientes con salinidad y deficiencia de elementos menores, por lo que no sería apto para que un cultivo se pueda desarrollar de manera eficiente (Schwartz y Gálvez 1980).

### **Principales enfermedades limitantes en el frijol común**

**Pudrición de la raíz (*Rhizoctonia solani*).** El rendimiento del cultivo de frijol puede llegar reducirse significativamente cuando este hongo se encuentra en sus raíces, es por eso que hasta un 50% del rendimiento que puede llegar a tener, se ve reducido. Este hongo puede presenciarse en el cultivo entre las primeras cuatro semanas (IICA 2008).

Este tipo de hongo puede llegar a presentarse en zonas donde mantienen la producción de un solo cultivo y no realizan rotaciones, ya que el hongo prevalece en el rastrojo del cultivo tras la cosecha, por lo que, cuando se vuelve a sembrar, el hongo ya se encuentra presente. También en zonas donde el drenaje es deficiente, por lo que se retiene humedad y facilita la presencia de este hongo. Es recomendable, que se realicen buenos drenajes para que no exista demasiada humedad en el cultivo, tener rotación con maíz o arroz para no tener siempre el mismo cultivo y de esa forma se evitaría que se siga proliferando el hongo (Hernández 2009).

**Mancha angular (*Pseudocercospora griseola*).** El rendimiento del frijol al estar junto a este hongo disminuye drásticamente, ya que puede tener afectaciones en su rendimiento de entre 40 a 80%. Este hongo se ve favorecido al estar en climas de entre 18 a 28 °C y en épocas donde el clima es variado, días con lluvia y días secos (IICA 2008).

Los principales problemas que puede causar el hongo en el frijol, es en las hojas, tallos y vainas. En las hojas al tener un ataque crítico del hongo, pueden llegar caerse, en cambio, al tener una presencia normal en la hoja, se observan manchas de color gris y de forma redonda. En los tallos, se puede observar el hongo en machas elongadas y de un color café rojizo (Hernández 2009). En las vainas del cultivo, se puede observar las manchas en formas ovaladas y también de color café rojizo. Este hongo puede estar presente en el rastrojo, por lo que es recomendable realizar rotación de cultivos para que la incidencia no sea demasiado alta para el cultivo (Hernández 2009).

**Falsa mancha angular (*Aphelenchoides besseyi* Christie).** La presencia de este nematodo en el cultivo de frijol puede afectar seriamente, ya que su rendimiento puede llegar a reducirse hasta un 50% (IICA 2008). Esta enfermedad provoca que en las hojas se empiecen a observar manchas angulares y de acuerdo esta enfermedad se vaya desarrollando, las manchas se harán más grandes y, por lo tanto, se unirán cubriendo toda la hoja.

Los nematodos pueden llegar a distintas plantas al momento que ocurran lluvias, ya que, cuando salpica el agua de lluvia en el suelo, del suelo salpica hacia las plantas y por ese medio se transportan los nematodos. También se recomienda realizar rotación de cultivos, ya que, el nematodo logra sobrevivir en el rastrojo que queda después de realizar la cosecha (Hernández 2009).

**Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*).** La presencia de este hongo es un factor que limita mucho la producción del cultivo de frijol, ya que, este hongo puede causar que se pierda por completo todas las plantas de la zona en la que se está produciendo. Este hongo causa que las venas principales de las hojas, en el envés, presente quemaduras. En las vainas, las consecuencias pueden ser perjudiciales, ya que, el hongo causaría que las vainas se tuerzan, por lo tanto, la producción de grano sería nula (IICA 2008).

Al igual que la enfermedad de la falsa mancha angular, este hongo se puede esparcir al momento que se salpica el agua de lluvia en las plantas. Este hongo puede estar presente en muchas zonas de la planta, específicamente en partes aéreas, cuando llega hacia el tallo, puede causar que ocurra un doblamiento, por lo que afectaría gravemente al cultivo. Al igual que otras enfermedades, este hongo también puede sobrevivir en los restos que quedan después de realizar la cosecha, por lo que, se debe realizar una rotación de cultivos para evitar que exista en gran cantidad y afecte seriamente al cultivo (Hernández 2009).

**Mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*).** Este hongo puede causar grandes efectos en el cultivo de frijol, ya que puede causar que hasta un 90% del cultivo se pierda, por lo que es una de las enfermedades más importantes para los agricultores de este cultivo (IICA 2008). Lo primero que se puede observar cuando la planta presenta esta enfermedad, es una lesión acuosa, que de acuerdo se vaya desarrollando, se junta con las demás manchas y puede llegar a cubrir toda la planta. Afecta tanto a las semillas, como también a las vainas, ya que las hojas al presentar gran cantidad del hongo pueden llegar a desprenderse de la planta, mientras que, al tener presencia del hongo en las vainas, puede llegar a contaminar la semilla. El hongo también prevalece en el rastrojo tras la cosecha, por lo que, se recomienda hacer rotación de cultivos (Hernández 2009).

**Mosaico dorado amarillo (BGYMV).** La presencia de este virus en las plantaciones de frijol puede causar grandes afectaciones, pero eso depende de algunos factores como, la edad en la que se encuentre el cultivo y de la cantidad que exista de mosca blanca en el campo, ya que este insecto es el que transmite el virus e infecta las plantas. Se puede afectar desde un 30 a 100% del cultivo de frijol (IICA 2008).

El efecto que tenga el virus depende si es una variedad resistente o no, ya que, en el frijol común, el virus limita en gran parte el crecimiento y desarrollo de ciertas zonas de la planta como, el tamaño de la planta, vainas más pequeñas, deformes y en menor cantidad (Hernández 2009).

## **El fósforo y la fisiología del frijol**

**Crecimiento y desarrollo.** El fósforo en el frijol es de gran importancia para realizar la fotosíntesis, división y crecimiento celular, por otra parte, también ayuda a que las raíces de la planta se puedan desarrollar y formar de una manera rápida, lo cual hace que la calidad del grano del cultivo también mejore (Múnera y Meza 2012).

El fósforo también contribuye y ayuda para realizar la composición de las membranas y que su crecimiento sea más rápido (Medina *et al.* 1999). En las zonas donde existen deficiencias de fósforo en el suelo, las hojas tienen menos de un 0.2% de fósforo, la cantidad óptima de fósforo cuando se está iniciando la floración en hojas adultas que se encuentran en la parte superior de la planta, está entre 0.2 y 0.4% (Schwartz y Gálvez 1980). Por la deficiencia de fósforo en el suelo, las raíces del cultivo se ven obligadas a cambiar estructuralmente para que de esa forma puedan mejorar su adquisición de este nutriente, también provoca otros cambios o adaptaciones como la proliferación de pelos radicales, mayor elongación y se secretan fosfatasas y ácidos orgánicos en la zona de la rizosfera, haciendo que esta se modifique (Lynch y Brown 2008).

La eficiencia en la absorción de nutrientes, de acuerdo con el rendimiento del cultivo, es afectada o reducida al momento en que la concentración de un nutriente en el suelo agrícola es mayor a la cantidad que necesita el cultivo, por lo que, al tener excesos, el rendimiento no será el mismo que al tener un nivel óptimo. La biomasa total de la planta va a tener una eficiencia en crecimiento lineal, de acuerdo vaya aumentando el contenido de fósforo más de lo requerido, la eficiencia se reducirá, por lo que, el cultivo seguirá absorbiendo el fósforo que necesita y lo demás quedará como sobrante en el suelo (Hernández *et al.* 1996). El contenido de fósforo en el follaje del cultivo de frijol puede ir aumentando según aumenta la aplicación de fósforo al suelo, pero al tener un contenido mayor al que necesita el cultivo, el contenido en el follaje aumentará en cantidades más reducidas (Talavera 1988).

**Nodulación.** Los nódulos son una estructura especializada en las raíces y estos se producen mediante la simbiosis que tiene el rizobio con la leguminosa. Los primeros cambios que se puede observar en las raíces de las plantas con nódulos, es la deformación y curvatura en sus pelos radicales, después se crea un canal de infección que se da al momento que la bacteria rompe la pared celular de la raíz, luego estas bacterias se diferencian en bacteroides, de los cuales van a dar paso a los simbiosomas (Menéndez *et al.* 2016).

El proceso simbiótico que ocurre entre el rhizobium y la leguminosa tiene como limitante la presencia de fósforo, ya que este nutriente no siempre se encuentra disponible y por el alto consumo que se realiza de ATP de las reacciones enzimáticas. Cuando existen deficiencias de fósforo, la bacteria rhizobium puede llegar a introducirse en el hospedero, por lo que causara que los nódulos no se puedan desarrollar (Arias *et al.* 2007). La deficiencia de fósforo ocasiona que la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> se vaya deteriorando, haciendo que el desarrollo de los nódulos se retrase (Qiao *et al.* 2007).

El fósforo sirve como una fuente de energía para los nódulos en el cultivo, por lo que se puede decir, que el fósforo influye directamente en el crecimiento y desarrollo de los nódulos. Problemas en el cultivo o en el suelo, tales como, deficiencia de fósforo y molibdeno, suelos muy ácidos, disminución en la fotosíntesis pueden causar una reducida nodulación y fijación de N (IPNI 2005).

El efecto que tiene las diferentes dosis de fósforo, para el peso y crecimiento de los nódulos en las raíces del frijol, son significativas. Por lo que, cuando se realizó una aplicación de 1,350 mg/kg de fósforo, fue donde se observó la mayor cantidad de peso seco de los nódulos, mientras que en las zonas que no se aplicó ninguna dosis de fósforo, el peso seco de los nódulos es más reducido (Figura 6) (Acuña y Cordero 1989).

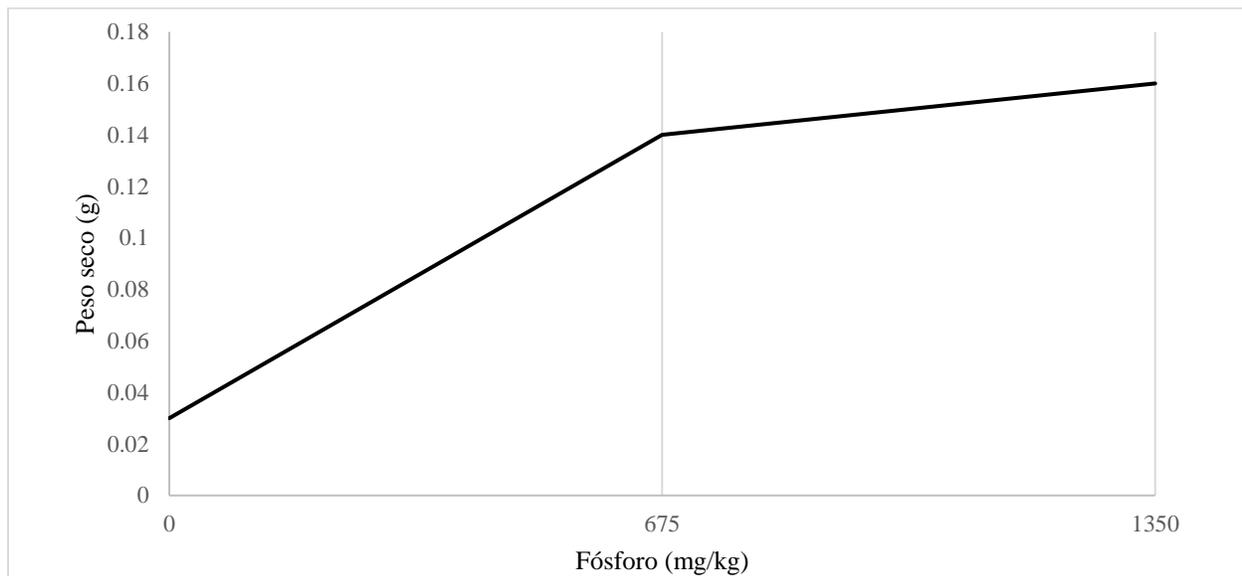


Figura 6. Efecto de diferentes dosis de fósforo sobre el peso de nódulos en frijol común Fuente: Acuña y Cordero 1989.

**Efectos productivos del frijol.** La presencia y acumulación de fósforo y otros nutrientes, influyen directamente en el área foliar del cultivo de frijol (Marschner 2012). El cultivo de frijol puede lograr absorber hasta 15 kg de fósforo durante su ciclo en el campo agrícola. El cultivo de frijol puede absorber fósforo, a través de ciertos lugares, como en los pelos radiculares, punta de la raíz y por las micorrizas. Existen algunas formas químicas de fósforo en las que la planta puede lograr absorber, pero existen dos principales formas químicas que el cultivo de frijol absorbe en mayor cantidad, el ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) ion orto fosfato primario y el ( $\text{HPO}_4$ ) ion fosfato secundario, del cual, la forma química de fósforo que es mayormente absorbida es el ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) (Munera y Meza 2012).

Al ser absorbido el fósforo, se puede quedar almacenado en el área de la raíz o se puede movilizar dentro de la planta tras múltiples reacciones químicas, del cual puede llegar a añadirse a algunos compuestos orgánicos, como en las fosfoproteínas, ácidos nucleicos y en compuestos fosfatados. La absorción de fósforo se puede reducir o aumentar dependiendo del pH que se encuentre presente en el suelo (Munera y Meza 2012).

**Métodos para contrarrestar las deficiencias de fósforo.** Por la deficiencia de fósforo en el suelo, las raíces del cultivo se ven obligadas a cambiar estructuralmente para que de esa forma puedan mejorar su adquisición de este nutriente, también provoca otros cambios o adaptaciones como la proliferación de pelos radicales, mayor elongación y se secreta fosfatasas y ácidos orgánicos en la zona de la rizosfera, haciendo que esta se modifique (Lynch y Brown 2008).

La presencia de materia orgánica en los suelos puede favorecer en la disponibilidad de fósforo, ya que cuando la materia orgánica se mineraliza, esta favorece para que ocurra un aumento de las poblaciones microbianas, por lo que al momento que las poblaciones microbianas mueran, de esta forma se aportara fósforo en el suelo, haciendo que no exista deficiencia de este nutriente para el cultivo, cabe recalcar que este proceso solo puede ocurrir cuando existan temperaturas de entre 18 y 40 °C (Hyland *et al.* 2005). Para corregir la deficiencia de este nutriente, se ha comprobado que cambiando el pH del suelo y usando nutrientes en aerosol pueden lograr que exista una mayor disponibilidad.

Uno de los métodos más comunes para mejorar la disponibilidad de fósforo para el cultivo, es encalar la superficie del terreno, lo que hará que el fósforo sea absorbido por las raíces del cultivo, este método también ayuda a corregir la toxicidad por aluminio  $Al^{+3}$ , ya que el fósforo al ser un anión y el aluminio al ser un catión, este siempre va a tener preferencia por el fósforo, provocando que exista una deficiencia de este nutriente en el suelo (Echeverri 2018). Un método que se realiza para que existe mayor disponibilidad de este nutriente es, suministrar fertilizantes fosfóricos y facilitar que exista mayor número de procesos microbiológicos, para que de esa forma se pueda mineralizar el fósforo y, por ende, exista mayor disponibilidad (Lynch y Brown 2008).

## 4. CONCLUSIONES

- Se revisó información acerca de los efectos de diferentes niveles de fósforo en el suelo en el cultivo de frijol y de esa forma pueda ser aprovechable y disponible para usuarios que se encuentren en este ámbito agrícola que lo puedan consultar.
- El requerimiento de fósforo del cultivo de frijol se encuentra entre 15 a 35 kg por hectárea y que las aplicaciones de fertilizantes se deben realizar de acuerdo con el contenido de fósforo que se encuentre en el suelo.
- Los efectos que tiene la deficiencia de fósforo en el cultivo de frijol son retraso de la floración, el número de flores, disminución de la cantidad de semillas por vaina, y cambios estructurales en las raíces.

## 5. RECOMENDACIONES

- Antes de la siembra verificar los diferentes factores que podrían causar deficiencia de fósforo y tomar acciones para llevarlos a su normalidad de tal manera que no limite el desarrollo y la producción del cultivo de frijol.
- Planificar la fertilización del cultivo de frijol basado en análisis de suelo y sus necesidades nutricionales, dando seguimiento estricto durante la producción del cultivo, para evitar que se presenten deficiencias de fósforo u otros nutrientes.
- Informarse y guiarse de investigaciones sobre cómo realizar fertilizaciones eficientes de fósforo en condiciones de baja disponibilidad, para evitar deficiencias o excesos de tal manera que se logre optimizar la fertilización.

## 6. LITERATURA CITADA

- Acuña O, Cordero A. 1989. Efecto de diferentes dosis de molibdeno, fósforo y calcio sobre la nodulación y crecimiento de frijol en un Ultisol de Puriscal. CIAT. 13(2):193-196
- Álvarez G. El frijol hace germinar la economía. El nuevo diario, 2 de mar. de 2009; [consultado el 20 de ago. de 2020]. <https://www.elnuevodiario.com.ni/especiales/41606-frijol-hace-germinar-economia/>
- Arias J, Jaramillo M, Rengifo T. 2007. BPA en la producción de frijol voluble. 1ª Ed. Medellín, Colombia: FAO; [consultado el 21 de ago. de 2020]. <http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf>
- Asmar F, Singh T, Nielsen N. 1995. Barley genotypes differ in activity of soluble extracellular phosphatase and depletion of organic phosphorus in the rhizosphere soil. Plant Soil. 172(1): 117-122. doi:10.1007/BF00020865
- Bautista L. 2012. Cultivo de frijol. Slideshare. 14 p; [consultado el 16 de jul. De 2020]. <https://es.slideshare.net/labautistas/cultivo-de-frijol>
- Bernal L, Coello P, Acosta J, Martinez E. 2007. Efecto de la deficiencia de fósforo en el metabolismo de carbono de plántulas de frijol. Agrociencia. 41(4): 417-423. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v41n4/1405-3195-agro-41-04-417.pdf>
- Cabrera M. 2011. Comportamiento de algunas variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) bajo condiciones edafoclimáticas adversas. 1ª ed. La Habana, Cuba. p. 112.
- Carneiro RG, Mendes IC, Lovato PE, Carvalho AM. 2004. Indicadores biológicos asociados al ciclo del fósforo en suelos del Cerrado con labranza cero y labranza convencional. Scielo. 39(7), 661-669. doi:10.1590/S0100-204X2004000700007
- Echeverri J. 2018. Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 113 p; [consultado el 16 de ago. de 2020]. <http://bdigital.unal.edu.co/71606/2/39456768.2018.pdf>
- Edelstein DM, Tonjes DJ. 2012. Modeling an improvement in phosphorus. Journal of sustainable agriculture. 36(1): 18-35. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.627993>
- Escoto N. 2011. El cultivo de frijol. 2<sup>nd</sup> ed. Tegucigalpa, Honduras. Editorial MDC. 43p. <http://www.dicta.gob.hn/files/2011,-Cultivo-de-frijol-G.pdf>

- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 296 p; [consultado el 26 de jul. De 2020]. ISBN: 978-92-5-131129-5.
- Fujita K, Okada M, Lei K, Ito J, Ohkura K, Adu-Gyamfi J, Mohapatra PK. 2003. Effect of P deficiency on photoassimilate partitioning and rhythmic changes in fruit and stem diameter of tomato (*Lycopersicon esculentum*) during fruit growth. *Journal of Experimental Botany* 54 (392): 2519-2528.
- Gaucín D. 2019. El mercado mundial y nacional del frijol [internet]. México. *El Economista*; [consultado el 25 de jul. de 2020]. <https://www.economista.com.mx/opinion/El-mercado-mundial-y-nacional-del-frijol-20190328-0088.html>
- Graham MH, Haynes RJ, Meyer JH. 2002. Cambios en la química del suelo y la estabilidad de los agregados inducidos por la aplicación de fertilizantes, la quema y la retención de basura en un experimento de caña de azúcar a largo plazo en Sudáfrica. *European Journal of Soil Science*. 53(4): 589-598. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00472.x>
- Harter B, Motis T. 2016. Conociendo los suelos afectados por sales. *Echo community*; [consultado el 28 de jul. de 2020]. <https://www.echocommunity.org/es/resources/114701c3-3d54-487d-a0c4-439e10051676>
- Hernández G, Toscano V, Méndez N, Gómez L, Mullings M. 1996. Efecto de la concentración de fósforo sobre su asimilación en tres genotipos de frijol común. *Agronomía mesoamericana*. 7(1): 80-85. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/24794/25007>
- Hernández J. 2009. Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol. San Jose, Costa Rica. Ministerio de agricultura y ganadería (MAG) de Costa Rica; [consultado el 29 de jul. de 2020]. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9533.pdf>
- Hyland Ch, Ketterings Q, Dewing D, Stockin K, Czmmek K, Albrecht G, Geohring L. 2005. The phosphorus cycle, fact sheet 12. Cornell University. 12 p.
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2008. Guía de identificación y manejo integrado de las enfermedades del frijol en América Central. Managua, Guatemala. 32 p; [consultado el 3 de sep. de 2020]. <http://repiica.iica.int/docs/B0891E/B0891E.pdf>

- INTAGRI, Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. 2017. Síntomas visuales de deficiencia de fósforo en los cultivos. Artículos técnicos de INTAGRI. 103:4p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sintomas-visuales-de-deficiencia-de-fosforo-en-los-cultivos>
- IPNI, Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. 2005. Efectos del fósforo en la fijación del nitrógeno. Canadá. 56:1-16 [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/5298EA0119E6494E852579A3007424DF/\\$FILE/Inf-Agro%2056.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/5298EA0119E6494E852579A3007424DF/$FILE/Inf-Agro%2056.pdf)
- Janick J. 1994. Horticultural reviews. 16. New York. Willey. 406 p. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=fFj92fyIIhkC&oi=fnd&pg=PA33&dq=Cellular+mechanisms+of+Salt+tolerance+in+plant+cells.+Horticultural+Reviews&ots=duW8C-n3sH&sig=Aaz1aZoWhkk2e0TQmvTuVquBJdI>
- Jarquín D, Gallegos J, Schwenstesius R, Huato M, Larqué B. 2010. Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. Rev. Mex. Cienc. Agric. 1(3): 363-380. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300007&lng=es&tlng=es)
- Jeschke W, Kirby A, Peuke J, Pate W, Hartung. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). J. Exp. Bot. 48: 75-91. doi: 10.1093/jxb/48.1.75
- Jones AL. 1999. Phaseolus Bean: Post harvest operations. CIAT. 25 p: <http://www.fao.org/3/av015e.pdf>
- Khan H, Paull J, Siddique K, Stoddard F. 2010. Faba bean breeding for drought, affected environments: A physiological and agronomic perspective. Fields crops research. 115: 279-286. <https://researchportal.helsinki.fi/en/publications/faba-bean-breeding-for-drought-affected-environments-a-physiologi>
- Kohashi S, Galván T, García E, Yañez J, Martínez V, Ruiz P. 2002. Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), Agric. Téc. Méx, 28(1): 65-75. <https://www.redalyc.org/pdf/608/60828107.pdf>
- Lynch JP, Brown KM. 2001. Forrajeo de la capa superficial del suelo: una adaptación arquitectónica de las plantas a la baja disponibilidad de fósforo. Planta y suelo. 237: 225-237

- Lynch JP, Brown KM. 2008. Root strategies for phosphorus acquisition. *Plant Ecophysiology*. 7: 83 – 116. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5_5)
- Madueño A, García JD, Martínez J, Rubio C, 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* L. con diferentes potenciales osmóticos. *Terra Latinoamericana*. 24(2): 187-192. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311108005.pdf>
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. London. Academic Press. 889 p. ISBN: 978-0-12-473543-9
- Marschner P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup> ed. London, UK. Elsevier. 645p. ISBN: 978-0-12-384905-2
- Medina G, Orozco M, Bolívar J, Ramírez P. 1999. Acumulación y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta. *Agronomía Colombiana*. 16(1-3):46-50. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25081/25614>
- Menéndez E, Mateos P, Rivas R. 2016. Nódulos fijadores de nitrógeno. *Investigación y Ciencia*; [consultado el 25 de jul. De 2020]. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/especial-40-aniversario-682/ndulos-fijadores-de-nitrgeno-14581>
- Múnera G, Meza D. 2012. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda, Colombia. 52p; [consultado el 20 de ago. de 2020]. <https://docplayer.es/32223917-El-fósforo-elemento-indispensable-para-la-vida-vegetal.html>
- Neumann G, Römheld V. 2002. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. *ChemInform*. 34(4): 617–649. Doi: - 10.1002/chin.200304265
- Núñez A, Ritchie J, Smucker A. 1998. El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en frijol común. *Agronomía Mesoamericana*. 9(2): 1-8. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CIAGRO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017620>
- Osorio NW. 2014. Manejo de nutrientes del suelo del trópico. capítulo 2. Medellín: Editorial L, Vieco S.A.S. 416p; [consultado el 19 de ago. de 2020]. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/210/194/>

- Peralta E, Murillo A, Mazón N, Monar C, Pinzón J, Rivera M. 2010. Manual agrícola de frijol y otras leguminosas. 2<sup>nd</sup> ed. Quito, Ecuador. Editorial S.A INIAP. 70p. <https://docplayer.es/52714675-Manual-agricola-de-frejol-y-otras-leguminosas-cultivos-variedades-costos-de-produccion.html>
- Qiao Y, Tang C, Han X, Miao S. 2007. Phosphorus deficiency delays the onset of nodule function in soybean. *Journal of Plant Nutrition* 30 (9): 1341-1353.
- Rainey KM, Griffiths PD. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(1):18-23. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.1.18>
- RCTA, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 2017. Estrés hídrico y la distribución de características vegetativas y reproductivas en el genotipo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). *RCTA*. 26(1): 66-70. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93249689008.pdf>
- Rosas JC, Castro A, Flores E. 2000. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana*. 11(2):37-46.
- Sample EC, Soper RJ, Racz GJ. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. The role of phosphorus in agriculture. 11: 263-310. <https://doi.org/10.2134/1980.roleofphosphorus.c12>
- Schwartz H, Gálvez G. 1980. Problemas de producción fríjol. Cali, Colombia. CIAT. 327 p.
- Sela G. 2020. La salinidad del suelo. SMART fertilizer Software; [consultado el 4 de ago. de 2020]. <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-salinity/>
- Singh SP. 1995. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*. 35(1): 118-124. Doi: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500010022x
- Suquilanda M. 1996. Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. Quito, Ecuador. Fundación para el desarrollo agropecuario (FUNDAGRO). 654 p.
- Sylvia M, Fuhrmann J, Hartel P, Zuberer D. 1995. Principles and applications on soil microbiology. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall. New Jersey. 640p. ISBN:0-13-094117-4
- Talavera F. 1988. Efecto de diferentes niveles y formas de aplicación de fertilizante fosfórico en el rendimiento del frijol común. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Managua, Nicaragua. 55 p; [consultado el 26 de jul. de 2020]. [https://library.wur.nl/isric/fulltext/isric\\_i16581\\_001.pdf](https://library.wur.nl/isric/fulltext/isric_i16581_001.pdf)

- Turuko M, Mohammed A. 2014. Effect of Different Phosphorus Fertilizer Rates on Growth, Dry Matter Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). World Journal of Agricultural Research. 2(3): 88-92. Doi: 10.12691/wjar-2-3-1.
- Wortmann Ch, Allen D. 1994. African bean production environments. Their definition, characteristics and constraints. CIAT. Colombia. 47 p; [consultado el 15 de jul. de 2020]. [http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/CIAT%28Colombia%29000184\\_\\_African\\_Bean\\_Production\\_Environmetns\\_Their\\_Definition\\_Characteristics\\_and\\_Constr.pdf](http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/CIAT%28Colombia%29000184__African_Bean_Production_Environmetns_Their_Definition_Characteristics_and_Constr.pdf)
- Yadav RS, Meena SC, Patel SI, Patel KI, Akhtar MS, Yadav BK, Panwar J. 2012. Bioavailability of Soil P for Plant Nutrition. Springer. 10:177-200. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4500-1\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4500-1_8)
- Yang X, Post W, Thornton P, Jain A. 2013. The distribution of soil phosphorus for global biogeochemical modeling. Biogeosciences. 10(4): 2525–2537. <https://doi.org/10.5194/bg-10-2525-2013>
- Yildirim E, Güvenc I, Turkey E. 2006. Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. Turk J Agric. 30:347-353. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-06-30-5/tar-30-5-5-0606-6.pdf>