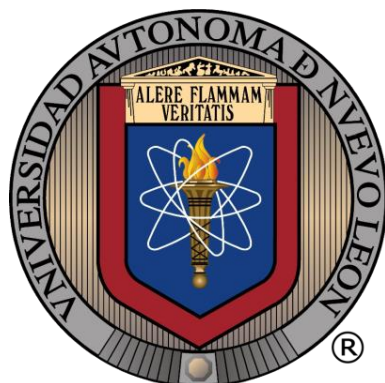


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



INOCULACIÓN CON *Rhizobium phaseoli* EN TRES GENOTIPOS DE *Phaseolus vulgaris* L. BAJO DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

SHENER CEAN

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



INOCULACIÓN CON *Rhizobium phaseoli* EN TRES GENOTIPOS DE *Phaseolus vulgaris* L. BAJO DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

SHENER CEAN

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



INOCULACIÓN CON *Rhizobium phaseoli* EN TRES GENETIPOS DE *Phaseolus vulgaris* L. BAJO DOS DENSIDADES DE POBLACIÓN

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

SHENER CEAN

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

MARZO 2021

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Dr. José Elías Treviño-Ramírez
Director de tesis

Ph. D. Francisco Zavala-García
Codirector

M. C. Jesús Andrés Pedroza-Flores
Asesor

Dr. Guillermo Niño Medina
Asesor

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez-Soto
Asesora

Dr. Omar Guadalupe Alvarado-Gómez
Asesor

Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

Primero a Dios por sus bondades y sus bendiciones, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.

A mis padres: Nelson Cean y Marie Nicole Poisson por su amor, su sacrificio y su esfuerzo constante.

A mis hermanos: Jims Nicolas Ceant, Claudy Ceant, Jeff Nelcio Ceant, a mi única hermana Jeanne Myrthaelle Ceant y mi sobrinita Biangjy Nick Ceant que estuvieron siempre pendientes para ayudarme cuando lo necesitaba de manera incondicional, ya que sin su apoyo y comprensión no sería posible alcanzar este logro.

A mi tía querida Mirtha Poisson por su amor y su sacrificio para mí como si fuera mi mamá. A mis primos, más particular Jean Antoine Cean, Ing. Bernadin Fontus.

A mis amigos, de una manera u otra, siempre estaban al lado mío y se dieron cuenta del duro momento que atravesé y me ayudaron a salir adelante: Lic. Lucner Veillard, M. Sc. Wilguince Apollon, Ing. Agro. Ananias Pierre, Ing. Agro. Flaneche Jean Leger, Rose Nedgie Joseph, Miss Valencia Richard y M.Sc. Cham Alhagie.

A mi país "HAITI", a la memoria de mis ancestros quienes me dieron una identidad.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT y al Gobierno mexicano por el financiamiento y el apoyo para llevar a cabo el proyecto. Gracias por permitir que México haga parte de mi vida profesional y social.

A mi tutor Dr. José Elías Treviño Ramírez por sus sabias orientaciones científicas y técnicas en la realización de esta investigación. Por la confianza, los consejos, la paciencia, por el tiempo invertido en éste trabajo.

A mi codirector Ph. D. Francisco Zavala-García y a mis asesores: M. C. Jesús Andrés Pedroza-Flores, Dr. Guillermo Niño- Medina, Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez-Soto, Dr. Omar Guadalupe Alvarado-Gómez por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico y la corrección final de la tesis.

A todos mis profesores de la maestría por ser gente de luz y por sus sacrificios de transmitirme sus enseñanzas para consolidar mi aprendizaje, les agradezco de todo corazón por sus valiosos aportes. Y de manera especial a Ph. D. Emilio Olivares Sáenz por sus sugerencias y su comprensión.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), especialmente a la FAUANL por poner recursos a la disposición de mi enseñanza. FAUANL, estoy muy orgulloso que hagas parte de mi historia.

A mis colegas de la maestría: Ing. Carina Lizeth Espinoza Orozco, Ing. Luis Enrique Ordoñez López, Ing. Elisa Juárez Gómez e Ing. Dulce Márquez por ser tan comprensivos conmigo. Por su fiel amistad y por ser buenos compañeros universitarios. Ustedes quedaran siempre como seres de luz en mi vida. De todo mi corazón.

A la bella familia López-Torres, quienes me recibieron y me dieron amor como si fuera su propia familia en Monterrey. Ustedes siempre quedaran en mi corazón.

A mis ayudantes prestatarios de servicio social: Venancio Villarreal (estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo) y Valeria López Flores (estudiante de la carrera Ingeniero en Biotecnología) quienes me ayudaron en la toma de datos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XV
1.INTRODUCCIÓN	1
1.1.Hipótesis.....	4
1.2. Objetivo General	5
1.2.1. Objetivo Especifico	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Origen e Importancia del Cultivo de Frijol.....	6
2.2. Producción de Frijol.....	7
2.2.1. Producción a Nivel Mundial	7
2.2.2. Producción de Frijol a Nivel Nacional.....	8
2.2.3. Frijol en Nuevo León	9
2.2.4. Consumo de Frijol en el Mundo	9
2.3. Semilla del Cultivo de Frijol	10
2.3.1. Producción y Uso de Semillas.....	10
2.3.2. Características de las Semillas	11
2.4. Variedades de Frijol Cultivadas en México.....	11
2.5. Época de Siembra de Frijol en México	12
2.6. Etapas del Desarrollo del Cultivo de Frijol.....	14
2.7. Hábitos de Crecimiento del Frijol.....	15
2.8. Condiciones Edafoclimáticas del Cultivo de Frijol	16
2.8.1. Manejo de Suelos y Fertilización del Cultivo	17
2.8.2. Riego.....	18
2.9. Factores que Influyen en la Producción	19
2.9.1. Nutrientes Minerales (N, P, K).....	19
2.9.2. Sequía.....	20
2.9.3. Plagas y Enfermedades del Cultivo de Frijol	21
2.9.3.1. Plagas más importantes del cultivo de frijol.....	21
2.9.3.2. Enfermedades más comunes del cultivo de frijol.....	22
2.10. Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN).....	26
2.10.1. Bacterias Fijadoras de Nitrógeno del Aire en las Leguminosas	27
2.10.2. Descripción del Género Rhizobium	28
2.10.3. Bacteria y Planta	28
2.10.4. Importancia del <i>Rhizobium</i> en el Cultivo de frijol.....	30
2.10.5. Condiciones Ambientales de Crecimiento de los Rhizobios.....	32
2.10.6. Factores Limitantes de la Fijación Biológica	33
2.11. Densidad de Siembra	34
3.MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Localización del Experimento.....	37
3.2. Análisis Químico y Físico del Suelo	38

3.3. Características Agronómicas Principales de las Variedades Usadas	39
3.3.1. Flor de Mayo	39
3.3.2. Pinto Americano	40
3.3.3. Pinto Saltillo	41
3.4. Densidades de Población en el Experimento	42
3.5. Manejo del Experimento	42
3.5.1. Preparación de Suelos y Método de Siembra	42
3.5.2. Semillas.....	43
3.5.3. Inoculación de Semillas.....	43
3.6. Diseño Experimental	44
3.7. Diseño Detallado del Experimento	45
3.8. Población Manejada en el Experimento	47
3.9. Control de Enemigos Naturales del Frijol	47
3.9.1. Plagas	47
3.9.2. Malas hierbas.....	48
3.9.3. Enfermedades en el Cultivo	48
3.10. Muestreo del Suelo para el Conteo de Nódulos	49
3.11. Variables Evaluadas en el Experimento	50
3.11.1. Variables Fisiológicas.....	50
3.11.2. Variables de Nodulación	51
3.11.3. Variables Morfológicas	51
3.11.4. Variables Agronómicas	51
3.12. Análisis de datos	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1. Variables Fisiológicas.....	54
4.2. Variables de Nodulación.....	57
4.3. Variables Morfológicas	60
4.4. Variables Agronómicas.....	61
5.CONCLUSIONES.....	69
6.RECOMENDACIONES	70
7. LITERATURA CITADA.....	71
8. APENDICE	94
8.1. Apéndice de Cuadros	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Variedades de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y sus orígenes por estado en México.....	12
2	Características edafológicas donde se estableció el experimento siguiendo la guía de interpretación de Rodríguez y Rodríguez (2011). Campo Agrícola Experimental FAUANL, Marín, Nuevo León, Agosto-Diciembre 2019.....	38
3	Comparación de medias de variables fisiológicas y agronómicas para el factor (B) genotipos.....	56
4	Comparación de medias de variables medias en los nódulos y variables agronómicas para el factor (A) niveles de inoculante.....	58
5	Comparación de medias para número de nódulos por planta en la interacción entre los dos niveles de inoculante (A) X los tres genotipos estudiados (B).....	59
6	Comparación de medias de variables agronómicas para el factor (C) densidades de población	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Semillas de la variedad Flor de Mayo después de la cosecha Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).....	39
2	Semillas de la variedad Pinto Americano después de la cosecha Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).....	40
3	Semillas de la variedad Pinto Saltillo después de la cosecha Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).....	41
4	Producto a base de bacteria del genero <i>Rhizobium</i> utilizado en el experimento.....	44
5	Croquis de campo con vista de los bloques con los tratamientos.....	46
6	Plantas con síntomas de pudrición carbonosa (A), Colonia con 6 días de crecimiento (B) y con 10 días de crecimiento (C) en medio de cultivo papa dextrosa agar, Observación de la colonia de <i>Macrophomina phaseolina</i> en microscopio óptico (D).....	49
7	Imagen de nódulos en frijol de semillas sin inoculación (S.I) y con inoculación (C.I) de 30 días después de la siembra.....	57

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en la región semiárida de Marín, N.L. en terrenos de la Facultad de Agronomía - UANL, Campo Agrícola Experimental Unidad Marín, ubicado en Carretera Zuazua - Marín Km. 17.5. Esta investigación se desarrolló bajo condiciones de riego por goteo. Se registró una temperatura media de 19.12 °C y una precipitación total de 251.4 mm durante el transcurso del cultivo. El objetivo de este experimento fue cuantificar el efecto de *Rhizobium phaseoli* en la semilla de tres genotipos frijol, bajo dos densidades de población para evaluar el rendimiento de grano y otras variables agronómicas. Las variables agronómicas que se evaluaron fueron: Días a floración (DF), días a madurez (DM), número de nódulos/planta (ND pl^{-1}), diámetro de nódulos (DN), longitud de guía (LG), número de vainas por planta (NV pl^{-1}), longitud de vainas (LV), número de granos por vaina (NG V^{-1}), número de granos por planta (NG pl^{-1}), rendimiento de grano por hectárea (R ton ha^{-1}) y peso de 100 granos (PG, g). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas subdivididas. Los factores fueron los siguientes: *Rhizobium* en parcela grande (con y sin *Rhizobium*), tres genotipos de frijol (G_1 =Flor de Mayo, G_2 = Pinto Americano y G_3 = Pinto Saltillo) en parcela media y dos densidades de población en parcela pequeña: $D_1=250,000 \text{ pl ha}^{-1}$ y $D_2=125,000 \text{ pl ha}^{-1}$, formando 12 tratamientos dispuestos en 4 bloques sobre una superficie total de 800.8 m^2 (30.8 m x 26 m). Los

datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectó significancia estadística en las variables estudiadas ($p \leq 0.05$), se aplicó la prueba diferencia mínima significativa (DMS). Los resultados del presente estudio mostraron que, entre los genotipos evaluados, el genotipo Pinto Americano tuvo mayor número promedio de nódulos por planta obteniendo 34 nod pl^{-1} ., el Flor de Mayo fue el más destacado en las siguientes variables: LG, NV pl^{-1} , NG pl^{-1} , NG V^{-1} , y R (3.29 $ton\ ha^{-1}$). El mayor rendimiento de grano fue alcanzado por la densidad alta (250,000 $pl\ ha^{-1}$), obteniendo 3.41 $ton\ ha^{-1}$.

ABSTRACT

The present work was carried out in the semi-arid region of Marín, N.L. on the grounds of the Faculty of Agronomy - UANL, Experimental Campus Marín Unit, located in Highway Zuazua - Marín Km. 17.5. This research was developed under drip irrigation conditions. An average temperature of 19.12 °C and a total precipitation of 251.4 mm were recorded during the course of the culture. The objective of this experiment was to quantify the effect of *Rhizobium phaseoli* on the seed of three bean genotypes under two population densities to evaluate the grain yield and other agronomic variables. The variables agronomic that were evaluated were: Days to flowering (DF), days to maturity (DM), number of nodules per plant (ND pl⁻¹), diameter of nodules (DN), guide length (LG), number of pods per plant (NV pl⁻¹), pod length (LV), number of grains per pod (NG V⁻¹), number of grains per plant (NG pl⁻¹), grain yield per hectare (R ton ha⁻¹) and weight of 100 grain in grams (GW). A randomized complete block design was used, arranged in subdivided plots. The factors were as follows: *Rhizobium* in large plot (with and without *Rhizobium*), three genotypes of beans (G₁= Flor de Mayo, G₂= American Pinto y G₃ = Saltillo Pinto) in a medium plot and two populations densities in a small plot: D₁ = 250,000 pl ha⁻¹ and D₂ = 125,000 pl ha⁻¹, forming 12 treatments arranged in 4 blocks on a total area of 800.8 m² (30.8 m x 26 m). The data were analyzed by means of an analysis of variance (ANOVA). When statistical significance was detected in the variables studied ($p \leq 0.05$), the minimum

significant difference test (DMS) was applied for comparison of means. The results of the present study showed that, among the genotypes evaluated, the Pinto Americano genotype had the highest average number of nodules per plant obtaining 34 nod pl^{-1} ., The Flor de Mayo was the most outstanding in the following variables: LG, NV pl^{-1} , NG pl^{-1} , NG V^{-1} , and R (3.29 ton ha^{-1}). The highest grain yield was achieved by the high density (250,000 pl ha^{-1}), obtaining 3.41 ton ha^{-1} .

1. INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) recibe distintos nombres alrededor del mundo como: frejol, guisante, habichuela, poroto, y constituyéndose en una de las leguminosas más importantes para el consumo (IBCE, 2015), se ha considerado como fuente de proteína, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, tales como hierro, potasio, magnesio y zinc (Celmeli *et al.*, 2018), además presenta alto contenido fenólico, flavonoides, y actividad antioxidante (Pérez-Pérez *et al.*, 2020). Los aportes de estos indicadores determinantes de la calidad de frijol en la nutrición humana, se considera que contribuyen en la prevención de las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y el cáncer especialmente en colon y glándulas mamarias (Mederos, 2006).

Los alimentos ricos en proteínas de alta calidad, dependen completamente de la disponibilidad del nitrógeno (Vance, 1997). La mayor contribución de proteína de este cultivo proviene de la capacidad de establecer relaciones simbióticas con el *Rhizobium* en el suelo (Broughton *et al.*, 2003). Esta bacteria en el cultivo de frijol favorece un mayor número de nódulos y un mayor aporte de nitrógeno al cultivo (Nápoles *et al.*, 2016).

Después del agua, el nitrógeno (N_2) es el elemento nutritivo más abundante en la atmósfera, al mismo tiempo es el factor más limitante para el buen desarrollo de las plantas. Debido a la forma en que se encuentra en el aire, es inaccesible a la mayoría de las plantas, por lo que son pocas las que tienen la capacidad de aprovecharlo (Fernández-Pascual *et al.*, 2002). En la agricultura, el nitrógeno es el principal nutriente para el crecimiento de las plantas. Un suelo pobre en nitrógeno tiene baja productividad y la mayoría de las plantas son incapaces de fijar el nitrógeno del aire (García, 2011). El rendimiento de frijol puede bajar hasta un 26.64% en un suelo con deficiencia de nitrógeno (Cedano *et al.*, 2000).

El mejoramiento de la eficiencia del uso de nitrógeno en la producción agrícola es esencial para abordar los tres desafíos alimentarios: la seguridad alimentaria, la degradación ambiental y el cambio climático (Zhang *et al.*, 2015). El mundo está en riesgo de escasez de alimentos debido a la disminución de la biodiversidad causada por la degradación del suelo agrícola (FAO, 2019). En este tipo de suelo, la aplicación incontrolada de los fertilizantes químicos generó cambio en la estructura y la biodiversidad del suelo (Saavedra *et al.*, 2017). En estos casos, el uso de la bacteria del género *Rhizobium* se reconoció como una alternativa para disminuir los problemas generados con el uso de agroquímicos, ayudando también al mantenimiento de la biodiversidad microbiológica del suelo (Hernández y Salido 2019; Velasco-Jiménez *et al.*, 2020), promoviendo el incremento de los rendimientos a bajo costo (Calero-Hurtado *et al.*, 2019). La interacción natural de las leguminosas como el frijol con una bacteria del suelo a nivel de la raíz, es ecológicamente

importante, como medida para evitar el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados que deterioran el suelo y contaminan el ambiente; y puede ayudar también a reducir la emisión de gases de efecto invernadero ocasionado por el uso de estos fertilizantes nitrogenados (Ángeles-Núñez y Cruz-Acosta, 2015). Muchos estudios probaron el efecto positivo de la inoculación con *Rhizobium* como estimulante en el incremento de rendimiento de granos y el número de vainas de frijol, comparado con las plantas no inoculadas (Morad *et al.*, 2013; Colás-Sánchez *et al.*, 2018).

Otro parámetro que constituye el problema mayor en la productividad del cultivo de frijol, además de la escasez del agua y de deficiencia en nitrógeno en el suelo, es una densidad poblacional inapropiada. Este último se reconoce como uno de los principales limitantes del rendimiento de este cultivo, ya que las bajas densidades producen bajos rendimientos, mientras que las altas densidades generan una alta competencia por nutrientes, agua, luz y creando condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento del cultivo y favoreciendo el ataque de patógenos e insectos.

Para la mayoría de los países de Latinoamérica, debido a su alto contenido de proteína (20-28%) el frijol constituye un alimento humano de mucha importancia en su dieta diaria. A pesar de la alta demanda del cultivo de frijol, su productividad es considerada baja, debido a varios factores que la afectan, como los cambios drásticos en el clima, deficiencia de nutrientes en los suelos, plagas y enfermedades, entre otros (González, 2016). Para superar el gran reto del hambre y la malnutrición

se debe aumentar la cantidad y la calidad de los alimentos, utilizando métodos de producción sostenibles, eficientes y seguros. Dentro de la Agenda 2030 para el desarrollo de una agricultura Sostenible, el frijol es una de las leguminosas que juega un papel crucial en la seguridad alimentaria, la nutrición, la salud, la lucha contra el cambio climático y en la biodiversidad del suelo (FAO, 2016).

Considerando la importancia del cultivo de frijol en el mundo, sobre todo en la necesidad que se refleja en países como México y Haití, con el aumento de la pobreza y la baja productividad de este cultivo, se plantea la presente investigación con el propósito de generar información esencial, que permitirá conocer la influencia de los microorganismos del género *Rhizobium sp.* bajo dos densidades de población en las variables: fisiológicas, morfológicas, agronómicas y de nodulación. De tal manera, se proponen la siguiente hipótesis y objetivos de este trabajo:

1.1. Hipótesis

La presencia de la bacteria *Rhizobium phaseoli* en los genotipos de frijol estudiados bajo las dos densidades de población impacta positivamente en las variables fisiológicas, morfológicas, agronómicas y de nodulación.

1.2. Objetivo General

Estudiar el efecto de la inoculación con *Rhizobium phaseoli* en la semilla de tres genotipos de frijol, bajo dos densidades de población, sobre su influencia en el rendimiento de grano y otras variables agronómicas y fisiológicas de las plantas de frijol.

1.2.1. Objetivo Específico

Evaluar el efecto del *Rhizobium phaseoli* en la capacidad de nodulación del cultivo de frijol.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e Importancia del Cultivo de Frijol

El frijol se clasifica dentro del género *Phaseolus* y la familia Fabaceae. Es una planta herbácea de ciclo anual. Los estudios arqueológicos revelan que el género *Phaseolus* tiene su origen en el continente americano. Se han encontrado evidencias de la presencia de esta planta en regiones de México, Estados Unidos y Perú. Algunos investigadores consideran a México como uno de los centros de origen de diversos tipos de frijol, esto por los hallazgos realizados, encontrando especies silvestres de los cinco grupos más cultivados de frijol: *P. vulgaris* (frijol común), *P. acutifolius* (frijol tepari), *P. lunatus* (frijol lima), *P. coccineus* (frijol ayocote o escarlata), y *P. polyanthus* (frijol anual) (FIRA, 2016).

El frijol es un alimento básico de gran importancia económica mundial, en particular en los países en desarrollo, constituyéndose en la fuente de proteína más importante para los países pobres (López, 2014). El consumo de frijol rico en hierro reduce la presencia de anemia, en particular en las mujeres embarazadas (Pierre, 2013). Esta planta constituye la principal y única fuente de proteínas para la mayoría de la población debido a su bajo costo por gramo de proteína comparado con la carne

(Guzmán-Soria *et al.*, 2019). Además, se considera que contiene más del doble de proteína y casi igual cantidad de carbohidratos que los cereales (Mendoza-Jiménez *et al.*, 2018). En México, este producto sigue siendo una fuente importante de ocupación e ingreso, así como una garantía de seguridad alimentaria, vía autoconsumo (López, 2014).

El frijol es el cuarto cultivo en importancia por la superficie sembrada en México, después del maíz grano, pastos y el sorgo grano. Por el valor de la producción primaria que genera, ocupa la undécima posición, considerando cultivos cíclicos y perennes. Por su amplia adaptación y por el número de variedades mejoradas disponibles, el cultivo de esta leguminosa se realiza prácticamente en todas las regiones, condiciones climáticas y tipos de suelos en el país. La temperatura y la disponibilidad de agua de lluvia son los factores más importantes que determinan la productividad del cultivo, ya que las principales regiones productoras registran bajos niveles de precipitación pluvial con una distribución errática (FIRA, 2016).

2.2. Producción de Frijol

2.2.1. Producción a Nivel Mundial

Según estudios realizados por Agroligne (2018), la producción mundial de leguminosas representó más de 80 millones de toneladas en el año 2017 que incluyó todas las variedades, incluyendo la producción del frijol que representó el 33%.

A nivel mundial se cultivan alrededor de 33.8 millones de hectáreas de frijol. De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), entre 2013 y 2017 la producción mundial de frijol creció a una tasa promedio anual de 5.9 por ciento, para ubicarse en 31.4 millones de toneladas. En el año 2017, la mayoría de la producción mundial se concentró en seis países: India (20.3%), Myanmar (17.4%), Brasil (9.7%), Estados Unidos (5.2%), China (4.2%) y México (3.8%) (FIRA, 2019).

2.2.2. Producción de Frijol a Nivel Nacional

La producción de frijol en el 2015 se concentró en Zacatecas, Durango, Sinaloa, Chihuahua, Chiapas, San Luis Potosí y Guanajuato. Se estima que al cierre del año agrícola 2016, la producción de frijol se incrementa a una tasa anual de 9.1 por ciento y se ubique en aproximadamente 1.06 millones de toneladas (FIRA, 2016).

En el año 2018, la superficie cosechada de frijol fue 1.6 millones de hectáreas, de las cuales el 86.8 % fue de temporal y 13.2 % de riego. La producción fue de 1.2 millones de toneladas. El 72.6 % se concentró en cinco entidades: Zacatecas (35.4 %), Sinaloa (14.5 %), Durango (8.8 %), Chihuahua (7.2 %) y Nayarit (6.7 %). El rendimiento promedio en riego se ubicó en 1.7 ton ha^{-1} y en temporal en 0.6 ton ha^{-1} (FIRA, 2019). Según Flores (2015), existen altibajos en la superficie sembrada con frijol en el país, debido a que su precio está sujeto a libre mercado, a libre

importación del producto en las fronteras que satura el mercado nacional, volviéndolo poco rentable.

2.2.3. Frijol en Nuevo León

En 2009, la producción de frijol participó con el 0.44% de la producción agrícola estatal y 0.1% del valor a nivel nacional. Nuevo León se clasifica en el lugar 26 del valor de la producción, el lugar 27 en el volumen cosechado, el lugar 24 en la superficie sembrada, el lugar 27 en precio medio rural y el lugar 31 en la productividad. La importancia económica y social que tiene este cultivo lo convierte en un producto estratégico para la dieta de la población sobre todo la más pobre, lo que lo favorece en la política estatal a pesar de las dificultades que enfrenta este cultivo como: ineficiente manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, bajo empleo de equipo especializado para la cosecha y aplicación de agroquímicos, deficiente fertilidad del suelo y escaso uso de fertilizantes inorgánicos, variedades de frijol inadecuadas a la región y susceptibles al estrés hídrico y al manchado del grano, incorrecto manejo agronómico del cultivo por región agroecológica (Maldonado *et al.*, 2013).

2.2.4. Consumo de Frijol en el Mundo

De acuerdo con información de la FAO, el consumo per cápita mundial registra tendencia estable en los últimos cinco años, y se ubica en 2.5 kg persona⁻¹ año⁻¹. En

Brasil, es de alrededor de 16 kg, en India de 3.0 kg, en Estados Unidos 2.8 kg y en México de 10.4 kg (FIRA, 2019).

2.3. Semilla del Cultivo de Frijol

La semilla es la unidad fundamental para la propagación de las especies vegetales que dependen de la cruce sexual. A partir de la semilla, se conservan las características genéticas de las especies vegetales bajo estudio y en esta se guarda la reserva para el inicio de crecimiento de una nueva planta. La semilla es el medio a través del cual, aun de manera pasiva, las plantas encuentran nuevos sitios y microambientes (Doria, 2010).

2.3.1. Producción y Uso de Semillas

El aspecto fundamental para la producción de semilla de frijol, es la conservación de la pureza genética de las semillas. Para mantener la pureza es necesario que los lotes de producción de semilla estén aislados y en condiciones adecuadas de campo, por lo que se recomienda utilizar barreras naturales como la siembra de plantas de mayor altura alrededor del lote de producción, como el maíz (Cid *et al.*, 2014). Usar solo semillas limpias de frijol y de buena calidad, variedades mejoradas porque las semillas de mala calidad producirán una mala cosecha. Con respecto a las

variedades locales, buscar en su región una fuente de semilla de buena calidad, por ejemplo alguien con una reputación como buen agricultor (David, 1998).

2.3.2. Características de las Semillas

La semilla debe tener buena forma, viabilidad, calidad y color uniforme y sin daños por plagas y enfermedades. Muchos trabajos de investigación demostraron que con el solo hecho de usar semilla de buena calidad se garantiza el incremento en el rendimiento en un 30% (INTA, 2009). La calidad de semilla de frijol es muy importante, pues influye mucho en el rendimiento del cultivo. Una semilla de buena calidad debe tener un porcentaje de germinación alto, debe estar bien seca, pura, todas las semillas deben ser de la misma variedad y tener un tamaño homogéneo, debe estar libre de materiales extraños, basura o semillas de otras especies o malezas, no debe tener daños, rota, arrugada o con moho, sin decoloraciones ni manchas, o daños por insectos, sin podredumbres (David, 1998).

2.4. Variedades de Frijol Cultivadas en México

En México se cultiva una gran diversidad de variedades de frijol, que responde a una geografía del consumo también diversa. Flores (2015) reportó que la tradición cultural y la alta disponibilidad de este material biológico en todo el país, favorecen la presencia de aproximadamente 70 variedades de frijol que se distribuyen en siete grupos: Negros, Amarillos, Blancos, Morados, Bayos, Pintos y Moteados. Las

variedades más consumidas son: Azufrado, Mayocoba, Negro Jamapa, Peruano, Flor de Mayo y F. de Junio. Las variedades más cultivadas se mencionan en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y sus orígenes por estado en México.

Variedad	Origen
Bayo	Zacatecas
Bayo Barrendo	Jalisco
Azufrado	Zacatecas
Cacahuate	Guerrero
Canario	Zacatecas
Flor de mayo	Zacatecas
Flor de junio	Zacatecas
Garbancillo	Zacatecas
Negro importado	Importación
Negro Nayarit	Zacatecas
Negro Veracruz	Veracruz
Negro	Nayarit
Mayocoba	Sinaloa
Peruano	Sinaloa
Pintos	Chihuahua

Fuente: Flores (2015)

2.5. Época de Siembra de Frijol en México

La fecha de siembra tiene una influencia determinante en el rendimiento del cultivo; este genera en los cultivos condiciones ambientales definidas tales como agua, luz,

temperatura y elementos nutritivos que afectan positiva o negativamente el crecimiento y desarrollo (Acosta-Gallegos *et al.*, 1996; Rodríguez *et al.*, 2014). Según investigaciones realizadas por el INIFAP-SAGARPA (2013), la época de siembra merece especial atención, ya que sembrar fuera de época trae como consecuencia alta infestación de plagas, bajos rendimientos y mayores riesgos en la producción y limita las funciones fisiológicas de la planta. En México, se siembra depende de la región con base en la temperatura, la temporada de lluvia y del genotipo, ya que uno de los factores más limitantes en la producción de este cultivo es el agua.

En México, los ciclos agrícolas se dividen en dos épocas: otoño-invierno y primavera-verano y su desglose es por la modalidad de riego o de temporal. La primera época va del 1 de marzo al 30 de septiembre y la segunda del 1 de octubre al 28 de febrero. En octubre se siembra la mayor superficie en México, en tanto que el mes que presenta mayor producción es marzo; estos datos corresponden al ciclo otoño-invierno. (SIAP, 2018). Algunas variedades son sensibles al “fotoperiodo”, fenómeno causado por la cantidad de horas luz. Este se manifiesta con los cambios que sufren las plantas y que pueden modificar su desarrollo, el crecimiento de la parte aérea, tarda en amarrar los botones florales, y en ocasiones puede producir poca vaina y por lo tanto el rendimiento se ve afectado (Cid *et al.*, 2014). En la región semi árida de Marín, Nuevo León, el periodo de siembra va del 15 de julio al 31 de agosto (Ramírez-Treviño *et al.*, 2018).

2.6. Etapas del Desarrollo del Cultivo de Frijol

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la vegetativa y la reproductiva. La duración de las distintas etapas está afectada por los siguientes factores, entre otros: el clima, el suelo y el genotipo (FAO, 2018). El ciclo del cultivo biológico de frijol se divide en diez etapas de desarrollo, al incluir cinco de desarrollo vegetativo: germinación (V0), etapa en la que la semilla tiene humedad suficiente para el inicio del proceso de germinación; emergencia (V1), se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo; hojas primarias (V2), etapa en la cual las hojas del frijol son unifoliadas, opuestas y situadas en el segundo nudo del tallo principal; primera hoja trifoliada (V3), inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana y tercera hoja trifoliada (V4), Comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada y cinco de desarrollo reproductivo: prefloración (R5), comienza cuando aparecen el primer botón o el primer racimo floral; floración (R6), etapa en la cual la planta presenta la primera flor abierta; formación de vainas (R7), cuando una planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida; llenado de vainas (R8), inicia cuando el 50% de las plantas empieza a llenar la primera vaina, comenzando el crecimiento activo de las semillas o grano y maduración (R9), inicia esta etapa cuando al menos una vaina inicia su decoloración y secado, por planta en un 90% de toda la población (CENTA, 2018).

2.7. Hábitos de Crecimiento del Frijol

El frijol puede ser de hábito de crecimiento determinado o indeterminado, lo cual se define fundamentalmente por las siguientes características de la parte terminal del tallo y de las ramas que han sido descritos por Parsons (2010).

- Tipo I. Se caracteriza por plantas precoces que tienen pocos nudos, de cinco a 10 y presentan brotes e inflorescencias terminales reproductivas (determinadas), son erectas, generalmente con granos grandes con bajo rendimiento.
- Tipo II. Son también plantas erectas de 11 a 14 nudos, hábito de crecimiento indeterminado, con vainas, pero con granos pequeños y una guía en el tallo con mayor rendimiento.
- Tipo III. Se caracteriza por plantas que tienen de 12 a 16 nudos de varios colores y tamaños. El ciclo vegetativo de la planta es de intermedio a tardío.
- Tipo IV. Son plantas trepadoras de varios colores que tienen de 14 a 18 nudos. Su potencial rendimiento es alto y el ciclo es tardío.

- Tipo V. Se caracteriza por plantas que tienen de 16 a 30 nudos. Son de ciclo tardío y su potencial de rendimiento es alto, sin soporte la producción de granos es baja.

2.8. Condiciones Edafoclimáticas del Cultivo de Frijol

El cultivo de frijol requiere de humedad adecuada en el suelo para que haya un buen crecimiento y desarrollo. A la vez requiere de un periodo seco o poca precipitación al final del ciclo, para favorecer el proceso de maduración y cosecha (Hernández-Fonseca, 2009). El cultivo se adapta y de hecho se siembra en una gran diversidad de suelos, sin embargo, para obtener los mejores resultados. Se recomienda sembrar en un suelo que favorezca la mayor disponibilidad de los elementos nutritivos (DICTA-SAG, 2013).

- Suelo: El frijol necesita suelos de textura ligera y bien drenados, varía de franco-limoso a ligeramente arenoso aunque tolera bien suelo franco-arcilloso (Parsons, 2010). El pH adecuado varía entre 6.5 a 7.5, en este rango, la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presenta su máxima disponibilidad; no obstante que se comporta bien en terrenos que tienen un pH de 4.5 a 5.5 (SAGARPA, 2016).

- **Temperatura:** el cultivo de frijol es muy vulnerable a temperaturas extremas, requiere para su buen desarrollo temperaturas óptimas que oscilan entre 10 °C y 27 °C, (SAGARPA, 2016), predominan generalmente a elevaciones de 400 a 1,400 msnm, pero el rango de tolerancia depende de la variedad (CENTA, 2008).
- **Luz:** La luminosidad condiciona la fotosíntesis, puede afectar la fenología y la morfología de la planta por medio de reacciones de fotoperiodo. Es planta de día corto y fuera de este rango produce elongaciones fuera de tipo (CENTA, 2008).
- **Humedad:** Un exceso de agua influye negativamente el desarrollo de la planta. Este factor puede favorecer el ambiente para la proliferación de plagas, enfermedades y dificulta la fecundación (Parsons, 2010).

2.8.1. Manejo de Suelos y Fertilización del Cultivo

El cultivo de frijol es una de las leguminosas que realiza la fijación biológica de nitrógeno, tiene la capacidad de aprovechar directamente el nitrógeno del aire mediante de bacterias del genero *Rhizobium* que puede generar parcial o totalmente su exigencias de nitrógeno (García, 2011). Un parámetro fundamental para determinar la cantidad de nutrientes para aplicar en un cultivo es conocer las cantidades de estos elementos que contiene el suelo a través de un análisis químico

en el laboratorio (CATIE, 2018). El N es el elemento de mayor importancia en el cultivo de frijol, seguido de P, K, Ca y Mg; los tres primeros (N, P y K) se acumulan en la semilla, mientras que los otros dos (Mg y Ca) permanecen en los residuos de cosecha. En promedio, según las curvas de absorción de frijol se necesitan alrededor de 53 Kg de N, 15Kg de P_2O_5 y 66 Kg de K_2O para producir una tonelada de granos (Hernández-Fonseca, 2009).

Con el uso de fertilizantes en el cultivo de frijol, se obtiene un buen desarrollo y un mayor rendimiento. Esta práctica depende de varios factores: humedad del suelo, contenido de nutrientes del suelo, disponibilidad de sembradora-fertilizadora y recursos económicos. Para suelos con buena retención de humedad, se recomienda aplicar la fórmula 30-30-00 (N-P-K respectivamente). Para suelos con buena humedad y riego de auxilio, aplicar la fórmula 40-40-00 (N-P-K respectivamente). Suelos delgados con poca retención de humedad y sin posibilidades de riego se recomienda no fertilizar (INIFAP- SAGARPA, 2013).

2.8.2. Riego

Para cualquier cultivo, el riego es una práctica indispensable para lograr altos rendimientos y mejorar la calidad del grano. El cultivo de frijol es sensible tanto al déficit como al exceso de agua. Las etapas más sensibles al déficit de agua, conocidas como etapas críticas son: a) etapa de desarrollo vegetativo, b) prefloración y c) llenado de vainas (González-Cueto *et al.*, 2017). El uso de sistemas de riego

desde un punto de vista sustentable deben considerar tanto los criterios medioambientales como económicos (Daccache *et al.*, 2014; Tarjuelo *et al.*, 2015). En resultados obtenidos aplicando el agua en forma regular, llegaron a satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de frijol con 14 riegos con un gasto total de 2, 517.72 m³ ha⁻¹, lo que es similar a la propuesta hecha por otros autores (González-Cueto *et al.*, 2017).

2.9. Factores que Influyen en la Producción

El rendimiento del cultivo frijol se ve reducido hasta un 50% por varios factores como aplicación indiscriminada de agroquímicos, sequía, plagas y enfermedades (Tofiño-Rivera *et al.*, 2016). Las principales limitaciones de la producción registradas en la literatura son las prácticas agronómicas deficientes, la escasa fertilidad del suelo, la falta de cultivares mejorados, el estrés de agua, la competencia de las malezas con el cultivo y el daño causado por agentes patógenos como hongos, bacterias, virus y plagas (CIAT, 1994).

2.9.1. Nutrientes Minerales (N, P, K)

En la nutrición vegetal, los elementos N, P, K son considerados como los principales nutrimentos esenciales (Hu *et al.*, 2016), tienen importancia vital en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El N es esencial para el crecimiento, la capacidad fotosintética, la síntesis de clorofila, de las proteínas y otros compuestos indispensables para la planta; es considerado el más importante, por ser el que se

encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica y de los tejidos favorecidos (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004). El P constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, respiración y fotosíntesis, interviene en el metabolismo de la planta, además es un componente del ADN (Fernández, 2007). El K es un activador de las enzimas responsables de la síntesis de almidón, reducción de nitratos y degradación de azúcares, también incrementa la resistencia del cultivo a las enfermedades y aumenta el número de frutos, reduce la velocidad de los golpes de calor y por tanto la desecación (Bueno-Jáquez *et al.*, 2005).

2.9.2. Sequía

Entre los problemas mayores del cultivo de frijol se encuentra su dependencia a la disponibilidad de agua. En condición de temporal, generalmente el rendimiento se ve más afectado en el ciclo de otoño-invierno por la incidencia de la sequía (Prieto-Cornejo *et al.*, 2019). A nivel mundial, la sequía es capaz de reducir la producción de frijol hasta en un 60% (Domínguez *et al.*, 2014). En México, el crecimiento y el rendimiento de grano de ese cultivo se ven afectados por las condiciones climáticas principalmente en ambientes con precipitación errática, donde la sequía causa bajos rendimientos de granos, biomasa aérea, número de vainas normales, número de semillas normales (Romero-Feliz *et al.*, 2018); el 86.4% de la producción de frijol en México es bajo condiciones de temporal (Espinoza-García *et al.*, 2016).

2.9.3. Plagas y Enfermedades del Cultivo de Frijol

Las plagas y enfermedades son otros factores limitantes de la producción del frijol, afectan principalmente todos los órganos y etapas de crecimiento, producción y almacén (SAGARPA, 2016). Además, la interferencia de la maleza en el cultivo de frijol puede ocasionar grandes pérdidas en su rendimiento, estimándose reducciones que van desde el 15 hasta el 97%, dependiendo de la variedad, densidad y fecha de siembra (Parreira *et al.*, 2011). Se ha confirmado que el deshierbe manual para el control de maleza y un aumento en la densidad de población de 125,000 a 250,000 pl ha⁻¹ presenta incremento en el rendimiento hasta en un 500% (Henríquez *et al.*, 1992); mientras que la incidencia de plagas y enfermedades, puede reducir hasta 50% el rendimiento (Pacheco *et al.*, 2016).

2.9.3.1. Plagas más importantes del cultivo de frijol

La planta de frijol es altamente susceptible al ataque de plagas durante los primeros 60 días de desarrollo, periodo en el cual se deben controlar adecuadamente. Como plagas de importancia en el cultivo de frijol en América Latina, se presentan los siguientes insectos: *Delia platura*, *Agrotis sp.*, *Spodoptera exigua*, *Phyllophaga mentriesi*, *Gryllus assimilis*, *Elasmopalpus lignosellus*, *Diabrotica sp.*, *Cerotoma spp.*, *Estigmene acrea*, *Urbanus proteus*, *Epilachna varivestis*, *Liriomyza spp*, *Empoasca kraeme*, *Bemisia tabaci*, *Aphis spp.*, *Acrosternum marginatum*, *Apion godmani*,

Heliopsis spp. y *Acanthoscelides obtectus* que atacan a la semilla o son larvas cortadoras (CIAT, 1994; Álvarez-Robles et al., 2017).

2.9.3.2. Enfermedades más comunes del cultivo de frijol

Entre las enfermedades más comunes de la planta de frijol se encuentran las siguientes:

a) Pudrición de raíces, Mal del Talluelo, Pudrición de tallo, que es causada por *Rhizoctonia solani Kühn* (Hongo). Esta enfermedad puede ocasionar pérdidas de un 50% en los rendimientos al afectar las raíces del cultivo, ataca a la planta durante las primeras cuatro semanas, causando una marchitez de la planta. Se desarrolla en suelos húmedos y temperaturas medias entre los 20-25 °C. No existen variedades tolerantes a esa enfermedad. Puede controlarse con el uso de semilla sana. Sembrar en lomillo alto, evitar suelos encharcados. No sembrar a profundidad mayor de 3 cm en suelos contaminados (IICA, 2008).

b) La roya, enfermedad causada por el hongo *Uromyces phaseoli* (Pers) Wint. var. *typica* Arthur, es considerada como uno de los principales factores limitantes en la producción de frijol. Sobrevive al generar urediosporas en climas templados y teliosporas en climas más fríos (Martha-María, 2018). Para el control del agente causante de esa enfermedad se usa el control químico, uso de variedades

resistentes, labores culturales y control biológico que es una alternativa muy importante en la preservación del ambiente (Cabrera *et al.*, 2016).

c) Mustia Hilachosa, Telaraña, Requema, Chasparria, enfermedad importante del frijol, causada por *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (*Rhizoctonia solani* Kühn) (Hongo), resulta con pérdidas de hasta 90% en el cultivo de frijol. Genera daños en las hojas, tallos y vainas. Tolera temperaturas moderadas o altas (25 °C - 32 °C) y lluvias frecuentes. La enfermedad se inicia a partir de los hilos o de esclerocios que caen al suelo y son salpicados por la lluvia hasta las hojas, junto con tierra. Después de dos semanas de la siembra, la planta se ve atacada hasta el llenado de vainas. Para el control de esa enfermedad, se debe usar semilla limpia y nueva (certificada). Usar coberturas muertas (maíz, caña o malezas). Sembrar en lomo de surco. Utilizar variedades de porte erecto, o de guía con maíz en relevo o asociado, rotar lotes o cultivos (tabaco, yuca, maíz, pastos). Tratar semilla con productos fungicidas como: benomil, carboxin, PCNB, Rizolex. En ataques moderados usar fungicidas sistémicos (azoxistrobina, benomil) o protectores (carbendazim, maneb, óxido cobre) (IICA, 2008).

d) Mancha angular causada por el hongo (*Pseudocercospora griseola*). Los síntomas de esa enfermedad se observan primero en las hojas. Son de color gris o café, de forma angular que cubren ambos lados de la hoja y presentan un halo clorótico; posteriormente la lesión se vuelve necrótica y adquiere la forma angular. Esta enfermedad se desarrolla más en regiones con temperaturas que oscilan entre los

16°C - 28°C, y períodos de lluvia alternados con días secos. La planta puede ser atacada desde dos semanas después de la siembra hasta el llenado de vaina. Esta enfermedad puede controlarse por uso de semilla sana y nueva. Eliminar del campo restos de cosechas anteriores muy afectadas. Rotar por un año con cualquier cultivo que no sea algún tipo de frijol. En casos de ataques anteriores severos aplicar fungicidas (Martínez y Peñate, 2015).

e) Antracnosis, enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.) Scrib. En condiciones favorables, puede ocasionar pérdidas totales del cultivo. Los síntomas se presentan en tallos, pecíolos, hojas, vainas y semillas. Esta enfermedad es más frecuente en regiones con temperaturas frescas (16 °C - 24 °C), localizadas a más de 1000 msnm, con lluvias frecuentes. La planta es atacada desde germinación hasta el llenado de vaina. Esta enfermedad puede controlarse por el uso de semilla certificada y que posea resistencia genética. Se recomienda eliminar restos de cosecha y rotar cultivos (IICA, 2008).

f) Mosaico dorado amarillo, Mosaico Dorado, Mancha Amarilla causada por Mosaico Dorado Amarillo (BGYMV) (Virus). Es la enfermedad viral más importante en América Central; genera pérdidas entre 30 y 100% dependiendo de la edad de la planta y la población de mosca blanca. Las vainas se deforman, producen semillas pequeñas, mal formadas y descoloridas. El mosaico dorado amarillo afecta siembras en zonas calientes (25 °C - 30 °C), bajo los 1,2 msnm. Ataca a las plantas desde las dos semanas de la siembra y los síntomas empiezan a notarse tan solo cinco días

después de la invasión de mosca blanca, el vector del virus. Esta enfermedad además se transmite mecánicamente pero no por semilla. Para el control de esa enfermedad, se debe sembrar frijol lejos de otros cultivos que son reservorios de mosca blanca (tomate). Controlar mosca blanca y eliminar malezas o frijol voluntario que pueden conservar el virus. La mayoría de variedades mejoradas con diferentes tipos de grano para América Central tienen resistencia de moderada a alta (IICA, 2008).

g) Pudrición carbonosa es una enfermedad de mucha importancia económica en la producción de cultivos como en frijol, soya, sorgo y maíz. Es causada por el hongo *Macrophomina phaseolina*; se adapta a ambientes con altas temperaturas y en condición de sequía. Ese hongo causa canchales en el tallo con coloración negra, marchitez de plántulas, ahogamiento pre y postemergente, además de producir daño en el tallo y la raíz. Este patógeno se encuentra en el suelo y se transmite por semilla (Martínez-Villareal *et al.*, 2016). Uno de los principales problemas que enfrenta el cultivo de frijol en el Sur de Estados Unidos, el Caribe, América Central y Sur América es la presencia de la *Macrophomina phaseolina* que genera grandes pérdidas en el cultivo. Este hongo es la causa de la descalificación de las legumbres como material de propagación (Hernández-Pérez *et al.*, 2017); influye en una disminución del peso de granos y el rendimiento del cultivo en un rango de 10 a 15% (Tofiño-Rivera *et al.*, 2016). Para el control de ese agente causal, se utilizan prácticas culturales (densidad de siembra, riego y fertilización química) y control biológico (hongos biocontroladores) o medidas químicas. Pero, estas medidas no son tan

eficaces por la tolerancia que tiene este hongo al estrés hídrico, altas temperaturas y gran adaptabilidad al ambiente cambiante (Tijerina-Ramírez *et al.*, 2014).

2.10. Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN)

Se llama FBN al proceso a través del cual, los microorganismos convierten el N₂ del aire en compuesto aprovechable para la planta (Mayz-Figueroa, 2004), gracias al complejo multienzimático conocido como nitrogenasa que poseen las bacterias del género *Rhizobium* (Quinto y Cárdenas, 2007). La FBN se realiza por organismos procariotas y se realiza en tres maneras básicas, libre (*Kiebsiella* sp., *Clostridium* sp.), asociada no simbiótica (*Azospirillum* sp., *Acetobacter* sp.) y asociada simbiótica (*Rhizobium* sp.) (Sprent y Raven, 1985).

Aproximadamente se presentan 15 nódulos en las raíces de una planta leguminosa y la mayoría de estos son rojizos por dentro; bajo estas condiciones, se puede afirmar que los microorganismos fijadores de nitrógeno están funcionando bien. La cantidad de nódulos puede superar a 100 por planta, si se inocula satisfactoriamente. Por lo tanto, el número de nódulos no indica una alta tasa de fijación, sino una condición previa para una simbiosis eficiente (Pommeresche y Hansen, 2017).

2.10.1. Bacterias Fijadoras de Nitrógeno del Aire en las Leguminosas

Los microorganismos fijadores de nitrógeno en las leguminosas no son habitantes de todos los suelos cultivados (Stoddard, 1975). En el suelo, las diferentes especies de bacterias pueden encontrarse como saprofitos de vida libre o como fijadores de nitrógeno endosimbiontes de plantas leguminosas. Entre los microorganismos fijadores del nitrógeno en asociación simbiótica con plantas leguminosas, existen un gran número de géneros de bacteria, incluidos: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Allorhizobium*, y *Azorhizobium* (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014). Estos organismos se dividen en dos categorías: a) aquellos de Gram negativas que son móviles en el suelo, aerobios y se denominan Rhizobio. En este grupo, se encuentran las bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium*, b) aquellos de Gram positivas que nodulan raíces de muchos árboles y arbustos. Este grupo está compuesto por los actinomicetos y bacterias filamentosas (García, 2011).

Para que haya una asociación simbiótica entre el microorganismo y la planta deben existir estas condiciones: 1) multiplicación de las bacterias en la rizosfera, 2) colonización de la rizosfera, 3) adsorción de la bacteria a la raíz, 4) ensortijamiento de los pelos radicales, 5) formación de los hilos o zonas intercelulares de infección, 6) crecimiento del hilo de infección hacia las células corticales o invasión de las mismas y 7) diferenciación tisular y desarrollo del nódulo (Perret *et al.*, 2000). Los nódulos se han clasificado en dos grupos: determinados e indeterminados y depende

del hospedante; los nódulos determinados tienen forma esférica o globosa, los cuales pueden organizarse alrededor de la raíz para formar nódulos en collar, mientras que los nódulos indeterminados son de forma elongada o cilíndrica y ramificados o coraloides (Hirsch, 1992). Ordinariamente, las leguminosas del género *Phaseolus* forman nódulos determinados (Torres-Tamayo, 2017).

2.10.2. Descripción del Género Rhizobium

Las bacterias del género *Rhizobium* son microorganismos aerobios de 0.5-0.9 x 1.2-3.0 μm , no forma spora, fijadores de nitrógeno, bacilos cortos algunas veces pleomórfico, gram-negativos con pared celular, móviles por flagelos peritricos o un solo flagelo lateral, pertenece a la familia *Rhizobiaceae*, este es heterótrofo, común en el suelo (Abd-Alla *et al.*, 2012).

2.10.3. Bacteria y Planta

Los rhizobios son bacterias del suelo que pueden establecer una simbiosis con plantas leguminosas que producen nódulos radiculares fijadores de nitrógeno, lo que constituye su principal característica (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014). La localización de los nódulos en las raíces de las leguminosas están ligados principalmente al género y especie de la planta, así también a la presencia de rhizobios en el suelo; si se ven únicamente en la raíz principal puede indicar que las bacterias intentan compensar una baja fijación aumentando su número dentro de los nódulos, pero si

están únicamente en la parte superior de la zona radicular, puede ser una indicación de falta de aire en la zona radicular más profunda (Pommeresche y Hansen, 2017).

En el frijol común, los nódulos son colonizados por bacterias del género *Rhizobium* y distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radicular, estos nódulos tienen forma poliédrica (CIAT, 1984). El tamaño de los nódulos en las leguminosas se puede interpretar por esta escala: a) menores de 2 mm: nódulos pequeños; b) de 2 a 4 mm: nódulos medianos y c) mayores de 4 mm: nódulos grandes (Matos y Zuñiga, 1998). Esta simbiosis se basa en el reconocimiento específico de las moléculas de señal que son producidas tanto por la bacteria (factor nod) y por la planta (Flavonoides) (Spaink, 2000). Establecen una asociación simbiótica, es decir, donde ambos se ayudan y benefician mutuamente. Las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico y lo incorporan a la base proteica del vegetal. Las plantas generan un ambiente favorable para las actividades de los microorganismos en su parte interna (López-Pérez y Boronat-Gil, 2016) y mientras que la bacteria recibe de la planta, el esqueleto de carbono para sus funciones vitales (Quinto y Cárdenas, 2007).

La bacteria induce a través de las raíces de la planta, la formación de un órgano denominado nódulo. En estas condiciones, la bacteria es capaz de convertir el diatómo de nitrógeno N_2 en amonio NH_4^+ que es asimilable para la planta. Esta asociación simbiótica fertiliza el suelo y se estima que incorporan de 60 a 120 kg de nitrógeno por hectárea (Flores, 2015).

Varios estudios indicaron que la fijación biológica de nitrógeno intermediado por la asociación leguminosa (alfalfa, trébol, frijol, guandules, etc. con *Rhizobium*) puede llegar a cifras considerables de nitrógeno fijado en el suelo (50-400 kg/ha/año). Las bacterias fijadoras de nitrógeno son específicas para cada cultivo, por lo tanto las leguminosas son agrupadas de acuerdo a su asociación con ciertas bacterias del género *Rhizobium* (Brechelt, 2004).

2.10.4. Importancia del *Rhizobium* en el Cultivo de frijol

Debido a la habilidad de las leguminosas en el aporte de nitrógeno a través de una asociación simbiótica con el *Rhizobium* (Tang, 1986), se puede aprovechar el nitrógeno del aire (N_2), sin la necesidad de utilizar nitrógenos sintetizados que dañan al suelo. Este microorganismo favorece el crecimiento del cultivo sin perjudicar al suelo (Martínez y López, 2000) y sin contaminación, al ser un producto natural (Saldaña, 2017). Se estimó que el 80% del N_2 fijado por las plantas en el planeta, se debe a la actividad del *Rhizobium* (Calero-Hurtado *et al.*, 2019). La mayor cantidad de nitrógeno absorbido por la leguminosa es de fijación biológica que puede proporcionar hasta 90% de las necesidades de nitrógeno en la planta (López *et al.*, 2017).

La bacteria del genero *Rhizobium*, favorece un buen contenido de nitrógeno en el suelo, lo que le permite al cultivo de frijol, tener un buen crecimiento bajo condiciones de suelos en escasez de nitrógeno, incrementa su rendimiento, favorece la

conservación del suelo y también contribuye a una agricultura más amigable con el medio ambiente (Velasco-Jiménez *et al.*, 2020). Muchos autores afirmaron que la bacteria del género *Rhizobium* en el cultivo de frijol aumenta la fertilidad del suelo y su uso en la semilla del frijol disminuye el ataque de *Fusarium solani*, hongo que genera la marchitez del frijol (Estévez de Jensen *et al.*, 2000). La inoculación del cultivo de frijol con *Rhizobium phaseoli* favorece nutricionalmente al cultivo, reduce y previene los daños ocasionados por *Xanthomona axonopodis* y la aparición de síntomas asociados a dicha enfermedad, tales como la clorosis y el tizón común bacteriano del frijol (Aguilar-Ramírez *et al.*, 2019). La simbiosis *Rhizobium-leguminosa* se reconoce como el sistema de fijación del N₂ más importante, debido a su eficiencia en la fijación de nitrógeno y su adaptabilidad en condiciones adversas como en regiones áridas con extrema salinidad, alcalinidad, acidez, sequía y fertilizantes. Pues, en estas condiciones, esta simbiosis es la mejor fuente del fertilizante (Zahran, 1999). Los mayores beneficios de la simbiosis leguminosa-Rhizobios son la reducción en la aplicación de fertilizantes nitrogenados y las mejoras en el crecimiento y salud de las plantas (Colás-Sánchez *et al.*, 2018).

2.10.5. Condiciones Ambientales de Crecimiento de los Rhizobios

Las condiciones más apropiadas para el crecimiento de los Rhizobios según Parsons (2010), se encuentran a continuación:

- Temperatura: los Rhizobios para su buen desarrollo necesitan una temperatura optima entre 29 y 30 °C.
- pH: las bacterias para su reproducción en el suelo necesitan un pH entre 4.5 y 9.6
- Oxigeno: son organismos aerobios. No obstante, estos pueden sobrevivir en suelos con un contenido de oxigeno inferior al de atmosfera.
- Fertilidad del suelo: entre más fértil sea el suelo, mayor será el número de Rhizobios. Sin embargo, si el suelo tiene altas concentraciones de N, no se realiza la nodulación. En el suelo, el fosforo debe estar en una cantidad aceptable para que exista una buena colonia de bacteria. Los elementos como calcio y molibdeno son de vital importancia para que se realice la fijación de N.

2.10.6. Factores Limitantes de la Fijación Biológica

Entre los factores que mayormente limitan la fijación biológica del nitrógeno se encuentran los siguientes: a) la temperatura afecta de forma indirecta la FB; cuando hay alta temperatura, incrementa la respiración; esto hace que el carbono disponible para la simbiosis sea menor, la probabilidad de nodulación es menor y con temperaturas inferiores a los 7 °C, la nodulación es inexistente; b) La disponibilidad baja del agua, c) Las enfermedades producidas por hongos o virus y d) Las diferencias en la concentración de gases que hay en el terreno (García, 2011). Además de los factores ambientales, la competitividad de los Rhizobios en la formación de nódulos y la efectividad de la planta hospedadora de *Rhizobium* para reparar el N₂ ejerce un control sobre la fijación del N₂ (Dabessa *et al.*, 2018).

Zahran y Sprent (1986) mencionaron que la sal puede influir en la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, afectando el crecimiento y la supervivencia del *Rhizobium* en el suelo, restringiendo la colonización radical; además influye en el número y peso de nódulo por planta (Hafeez *et al.*, 1988).

2.11. Densidad de Siembra

El frijol es una leguminosa que se cultiva en dos sistemas de producción. El principal es el frijol de guía asociado con maíz de temporal. El otro sistema es el frijol en unicultivo, que se practica en condiciones de temporal, bajo dos modalidades de siembra, al voleo y en surcos (Bravo *et al.*, 1993).

La densidad de siembra se refiere al número de kg de semilla que deben depositarse por unidad de superficie, para alcanzar la densidad de población o número de plantas por hectárea requeridas para lograr la mejor producción. La densidad de siembra difiere con la variedad seleccionada y la anchura de surco utilizada. De manera general, las variedades de hábito determinado arbustivo erecto como la variedad Cuarenteño, requieren de una mayor densidad de siembra, comparado con las variedades de hábito indeterminado postrado guía corta como la variedad Azufrado y Tapatío; estas últimas tienen la capacidad de cubrir un mayor espacio, por la producción de ramas y pequeñas guías (Lépiz-Ildefonso *et al.*, 2015)

El estudio poblacional en cualquier cultivo, debe hacerse para cada variedad de acuerdo a su arquitectura, zona y época de siembra (Lewis and Papavizas, 1980). La densidad poblacional del cultivo de frijol se relaciona con las condiciones ambientales en que se encuentra como el suelo, temperatura y precipitación, también con las características del genotipo (altura y ramificación de la planta) (Osuna-Ceja *et al.*, 2012).

La densidad de siembra es una de las herramientas más efectiva sobre los indicadores morfofisiológicos y de rendimiento del grano de frijol (Calero-Hurtado *et al.*, 2018). La distancia de siembra óptima para frijol es de 40 a 45 cm entre surcos. Sin embargo, esto se debe modificar para adaptarlo al sistema de riego por goteo o de goteo con camas. La población ideal del frijol es de 195,000 pl ha⁻¹ a germinación y con el óptimo a cosecha de 175,500 pl ha⁻¹. Se debe notar que se usa la germinación del lote a sembrar y se debe modificar la cantidad de semilla a usar para cada siembra dependiendo del porcentaje de germinación. Posteriormente se debe manejar la mortalidad de plantas tomado en cuenta el daño causado por insectos y enfermedades, el cual es tolerable hasta un 10% (Lardizábal *et al.*, 2013)

Fagaria y Balagar (Citados por Levi, 2014), indicaron que la densidad de siembra es un factor importante que afecta el rendimiento de los cultivos; el rendimiento biológico se incrementa con la densidad hasta un valor máximo, determinado por algún factor ambiental y, a densidades mayores, tiende a mantenerse constante siempre que no intervengan factores ajenos como el acame. El rendimiento en grano se incrementa hasta un valor máximo, pero declina al incrementar aún más la densidad. La densidad óptima de siembra debe ser determinada para cada cultivo bajo cada agroecosistema, con el fin de obtener rendimientos máximos.

En el cultivo de frijol, la densidad de población depende de: 1) la variedad, 2) el sistema de siembra, 3) la calidad de la semilla, 4) el ataque de plagas del suelo, 5) los daños causados por patógenos del suelo, 6) la humedad del suelo y 7) las condiciones climáticas después de la siembra. En monocultivo, la población

adecuada varía de región a región dependiendo de las condiciones anotadas, especialmente de la variedad. Se observaron niveles de rendimiento estables para densidades superiores a 200.000 pl ha⁻¹. Esos niveles fueron independientes del tipo de hábito de crecimiento, sistema de siembra, espaciamiento entre surco y planta de frijol, así como de la variedad (Henríquez *et al.*, 1992).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en la región semiárida de Marín, N.L. de la Facultad de Agronomía - UANL, Campo Agrícola Experimental Unidad Marín, ubicado en la Carretera Zuazua - Marín Km. 17.5, con una altitud de 396 msnm., con coordenadas geográficas 25° 52' latitud norte y 100° 02' longitud oeste (INEGI, 2017), con una temperatura y precipitación promedio anual de 22°C y 573 mm, respectivamente (INAFED, 2009).

Esta investigación se desarrolló bajo condiciones de riego por goteo. Se sembró en seco el 30 de agosto de 2019 y el 4 de septiembre se presentó una precipitación de 36 mm, seguido por 165 mm el día después. Se realizó la cosecha el 16 de diciembre del mismo año. Durante el transcurso de ese estudio, se registró una temperatura media de 19.12 °C y una precipitación total de 251.4 mm (CONAGUA, 2019) complementado con una aplicación de ocho riegos.

3.2. Análisis Químico y Físico del Suelo

Para el análisis de suelo, se tomó la muestra de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), en donde se toman los primeros 30 cm de profundidad, obteniendo 10 kg de muestra. La muestra colectada se destinó para el análisis cuantitativo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe), contenido de materia orgánica (MO), CE, textura y pH, realizándose en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los resultados del análisis fueron interpretados siguiendo la guía de interpretación por Rodríguez y Rodríguez (2011); los resultados se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características edafológicas donde se estableció el experimento siguiendo la guía de interpretación de Rodríguez y Rodríguez (2011). Campo Agrícola Experimental FAUANL, Marín, Nuevo León, Agosto-Diciembre 2019.

pH	MO %	CE mS/cm	N %	P PPM	K meq/100g	Fe mg/kg	Mg meq/100g	Ca meq/100g	Textura
8.5	2.098	1.02	0.158	75.41	0.81	6.25	3.498	15.55	Arcillosa
Moderadamente alcalino	Mediano	No Salino	Mediano	Óptimo	Óptimo	Nivel Crítico	Óptimo	Óptimo	

3.3. Características Agronómicas Principales de las Variedades Usadas

3.3.1. Flor de Mayo

Variedad de hábito de crecimiento indeterminado con un importante número de ramas, postrado, guía corta (tipo III a). Ciclo vegetativo intermedio (44 días a floración y 96 días a madurez), resistente a roya y bacteriosis de halo; resistencia intermedia a antracnosis, mancha angular y bacteriosis común. Rendimientos de intermedios a altos, entre 1,500 a 2,600 kg.ha⁻¹ en forma comercial. Color de grano rosado-morado alrededor del hilio y crema moteado en la parte dorsal; forma prismática semi aplanada y tamaño medio, 32 g en 100 semillas (Figura 1) (Lépiz-Ildefonso *et al.*, 2015).



Figura 1. Semillas de la variedad Flor de Mayo después de la cosecha.
Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).

3.3.2. Pinto Americano

Variedad de origen estadounidense, conocido también como Pinto texano o Burrito, de hábito indeterminado, postrado, guía corta (tipo III a). Ciclo vegetativo intermedio (42 días a floración y 94 días a madurez), resistente a roya y bacteriosis de halo; resistencia intermedia a antracnosis, mancha angular y bacteriosis común. Rendimientos de intermedios a altos, entre 1,500 a 2,600 kg.ha⁻¹ en forma comercial. Color de grano bayo con rayas de color café e hilio amarillo; forma prismática semiaplanada y tamaño medio (30 g en 100 semillas). Preferencia intermedia alta en el mercado (Figura 2) (Lépiz-Ildefonso, *et al.*, 2015).



Figura 2. Semillas de la variedad Pinto Americano después de la cosecha.
Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).

3.3.3. Pinto Saltillo

Proviene de una cruce múltiple, donde intervinieron las variedades Hidalgo 77, MAM 30, Michoacán 91A, BAT 76, BAT 93 y G5653. Fue obtenida y liberada por INIFAP en 2001. Es de hábito de crecimiento indeterminado de guía corta, con una altura promedio de 32 cm; Altamente resistente a la oxidación. Esa variedad es tolerante a Antracnosis, Roya y Pudriciones de la Raíz, por lo que no requiere de aplicación de fungicidas para su control. Su grano no se oscurece rápido, conserva su color original hasta 24 meses después su cosecha. Su contenido de proteínas es 22.1%. Tiene tamaño mediano con un intervalo de peso entre 30 y 34 g por cada 100 semillas. La floración y la madurez de Pinto Saltillo está entre 48 y 87 días después de la siembra (Figura 3) (Valdez *et al.*, 2009).



Figura 3. Semillas de la variedad Pinto Saltillo después de la cosecha.

Fuente: Foto de Ing. Shener Cean (2020).

3.4. Densidades de Población en el Experimento

Con el marco de plantación de 0.8m * 0.05m, se obtuvo una población de 20 plantas en 0.8 m² o 250,000 pl ha⁻¹ y con el otro marco de plantación de 0.8m * 0.1m, se obtuvieron por 0.8 m² una población de 10 plantas y 125,000 pl ha⁻¹.

3.5. Manejo del Experimento

Para la ejecución del ensayo, se llevaron a cabo todas las prácticas y labores agrícolas que el cultivo requirió para su normal desarrollo.

3.5.1. Preparación de Suelos y Método de Siembra

Para el establecimiento del cultivo de frijol en dicha área, se realizó una preparación de suelo con un paso de arado, dos pasos de rastra a una profundidad de 30 cm, el surco se realizó a 0.80 m con un juego de rejas acopladas al tractor. Para establecer en el campo el diseño del ensayo, se usó hilo y estaca para marcar los puntos de las parcelas que constituyeron el experimento.

La siembra llevó a cabo a chorrillo cargado en forma manual directa en hileras simples con alta densidad, ya con las plantas emergidas se realizó un raleo (aclareo) buscando que las plantas emergidas queden a una distancia entre hileras de 80 cm y

de dos distancias entre plantas de 5 y 10 cm, de acuerdo a los tratamientos utilizados.

3.5.2. Semillas

Se utilizó semilla de tres variedades de frijol (G_1 = Flor de mayo, G_2 = Pinto americano y G_3 = Pinto Saltillo). La elección de los genotipos se realizó con base a la información de adaptación de estos genotipos a las condiciones ambientales de Marín, Nuevo León. Además, estos genotipos presentan resistencia genética a la sequía y al ataque de agentes causales de enfermedades como la roya y antracnosis que comúnmente atacan a este cultivo.

3.5.3. Inoculación de Semillas

El inoculante que se utilizó fue un producto comercial de BIOAGRO DE MEXICO (Figura 4), elaborado bajo especificaciones de Kalo (Industria de productos químicos agrícolas en EEUU) llamado Legume Bacter, un inoculante multicepa, de bacterias del genero *Rhizobium phaseoli*, con muy alta capacidad para fijar el nitrógeno del aire. Este producto es altamente concentrado específico para el cultivo de frijol para producir nódulos en las raíces, contiene 400 millones de *Rhizobium* por cada mililitro. Se usan 500 ml de este producto para una o dos ha. Para el presente experimento, se aplicaron 120 ml del producto por 10 kg de semilla, se asperjaron las semillas con

el producto 24 horas antes de la siembra, de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

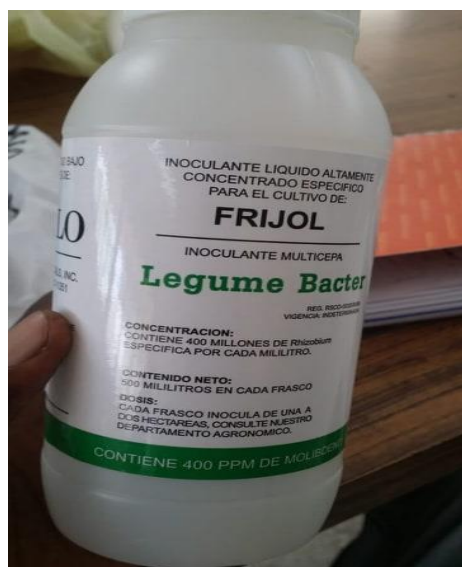


Figura 4. Producto a base de bacteria del genero *Rhizobium* utilizado en el experimento.

3.6. Diseño Experimental

El experimento se condujo en un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas subdivididas: Parcela grande: dos niveles de inoculante (Factor A), parcela media: tres genotipos (Factor B) y parcela chica: dos densidades de población (Factor C). Los factores A, B y C estuvieron dispuestos en 4 bloques, con 12 tratamientos y 4 repeticiones, sobre una superficie total de 800.8 m² (30.8 m x 26 m).

3.7. Diseño Detallado del Experimento

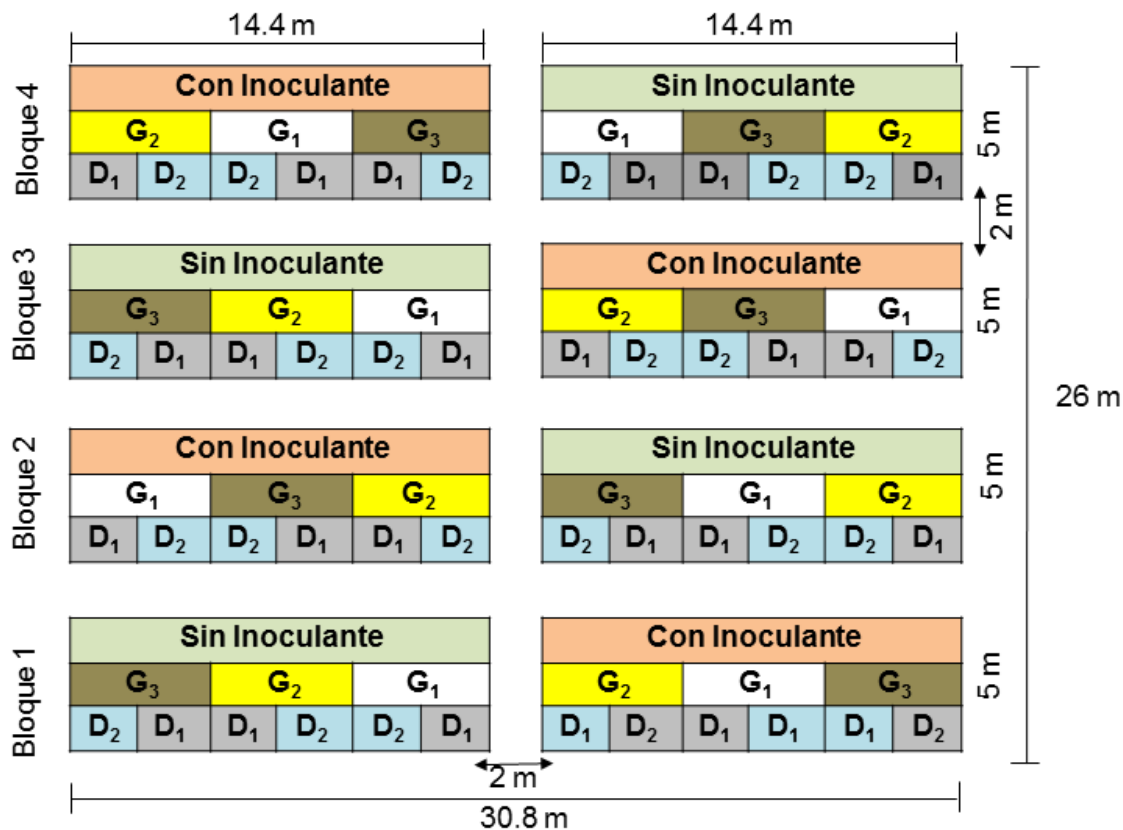
Dispuesto en 4 bloques que dieron un total de 48 parcelas chicas, cada bloque midió 30.8 m de largo y 5 m de ancho e incluyeron 12 parcelas chicas; cada una tuvo 5 m de largo y 2.4 m de ancho, la cual está conformada por tres surcos, separados 0.8 m. La unidad experimental fue 12 m² (Figura 5).

-Ancho de calles dentro bloque: 2 m.

-Nº de calles entre bloques: 3

-Ancho de la calle entre parcelas grandes: 2 m

-Nº de calles entre parcelas grandes: 1



Factor A= 2 Niveles de inoculante ↔ C.I (con inoculante) y S.I (sin inoculante)

Factor B= Genotipos ↔ G₁= Flor de mayo, G₂= Pinto americano y G₃= Pinto Saltillo

Factor C= Densidades de población ↔ D₁= 250,000 pl ha⁻¹ y D₂= 125,000 pl ha⁻¹

Figura 5. Croquis de campo con vista de los bloques con los tratamientos.

3.8. Población Manejada en el Experimento

Cada densidad de población ocupó 24 parcelas con 7, 200 plantas para la densidad alta de las tres variedades (300 plantas por parcela); para el caso de la densidad baja se manejaron 3,600 plantas de las tres variedades (150 plantas por parcela). Por lo antes mencionado, en el experimento, se manejó una población teórica de 10,800 plantas de las cuales 720 plantas fueron las de interés para el estudio. Se cosecharon plantas con competencia completa de un metro en el surco central de cada unidad experimental. Para la distancia entre plantas 0.05 m (20 plantas por tratamiento) y para 0.10 m (10 plantas por tratamiento).

3.9. Control de Enemigos Naturales del Frijol

3.9.1. Plagas

La presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y de gusano quemador (*Hylesia nigricans*) se observaron con frecuencia en el cultivo. Se aplicó insecticida, 1½ mochilas de clorpirifos 25%, 4mL L⁻¹ agua el 12 de septiembre de 2019.

3.9.2. Malas hierbas

Se observaron las siguientes arvenses: quelite espinoso (*Amaranthus spinosus*), quelite morado (*Amaranthus retroflexus*), quelite apestoso (*Chenopodium murale*), zacate pinto (*Echinochloa colona*), se realizó el desyerbe dos veces antes de la etapa de floración manualmente, usando azadón y machete. El primer control de malezas fue el 26 de Septiembre del 2019 y el segundo el 16 de Octubre del 2019.

3.9.3. Enfermedades en el Cultivo

Las variedades estudiadas presentaron síntomas de daño ocasionado por enfermedades, deficiencias nutricionales y otros factores abióticos durante su desarrollo. Se observó la decoloración de hoja debido a deficiencia en fierro. Se observaron hojas de bordes quemadas y también hojas de tamaño reducidas situación quizás ocasionada por la combinación de estrés hídrico y la arcilla del suelo. Se observó también pudrición carbonosa, enfermedad causada por el hongo *Macrophomina phaseolina*. Para confirmar el agente causal, se sembraron muestras de hoja de frijol Pinto Americano en el laboratorio. Se observaron las colonias del hongo obtenido a partir de los tejidos sintomáticos sembrados en Papa Dextrosa Agar (PDA) que fue un producto comercial de DIFCO y el 95% correspondió al hongo del género *Macrophomina*. Las colonias desarrolladas en dicho medio presentaron crecimiento micelial denso, al inicio fueron de color gris oscuro (6 días después) y posteriormente se tornaron de coloración negra (Figura 6). La variedad Pinto

Americano presentó mayor incidencia de ese hongo en el campo con un 20% de plantas muertas, a diferencia de las demás variedades donde la presencia de este, fue insignificante.

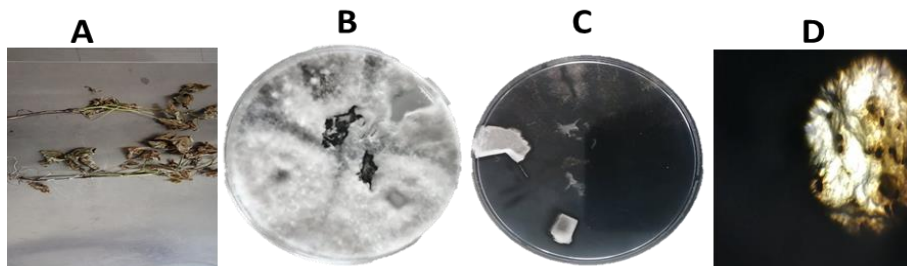


Figura 6. Plantas con síntomas de pudrición carbonosa (A), Colonia con 6 días de crecimiento (B) y con 10 días de crecimiento (C) en medio de cultivo papa dextrosa agar, Observación de la colonia de *Macrophomina phaseolina* en microscopio óptico (D).

3.10. Muestreo del Suelo para el Conteo de Nódulos

Utilizando una pala recta, se excavó a un lado de las plantas, de cada surco central de la unidad experimental y todas las plantas se retiraron cuidadosamente; posteriormente se separaron con cuidado las raíces del suelo para no dañar los nódulos, colocando las plantas completas en bolsas plásticas previamente rotuladas con los datos de cada tratamiento, según lo establecido por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para el cultivo del frijol (CIAT, 1987).

3.11. Variables Evaluadas en el Experimento

Los métodos utilizados para la evaluación de las variables se describen a continuación:

3.11.1. Variables Fisiológicas

- a) **Días a floración:** Se obtuvo considerando el número de días desde la siembra que tardó cada tratamiento (genotipo + densidad+ inoculante) para que 50% + 1 de su población estuviera en la floración (Tosquy-Valle *et al.*, 2017).

- b) **Días de madurez fisiológica:** Corresponde al número de días desde la siembra que demoró cada tratamiento (genotipo + densidad+ inoculante) para llegar a la madurez fisiológica (secamiento natural o vainas, cuando se rompe el conducto, es decir el frijol alcanza su máxima ganancia materia seca, no recibe más nutrientes elaborados por la planta) en el 50% + 1 de su población (Tosquy-Valle *et al.*, 2017).

3.11.2. Variables de Nodulación

a) **Diámetro de nódulos:** Se usó un vernier y se seleccionó una planta de cada tratamiento el nódulo más pequeño y el más grande para sacar un promedio. Esta determinación se hizo solo en dos repeticiones.

b) **Número Nódulos por planta en la raíz:** Se contabilizó el número de nódulos de las raíces de cada planta tomada al azar del surco central de cada tratamiento en dos repeticiones (Chipana *et al.*, 2017).

3.11.3. Variables Morfológicas

a) **Longitud de la guía o tallo:** Se midieron cinco plantas con competencia completa desde la superficie del suelo hasta el ápice de la guía, considerando el surco central de cada unidad experimental (Narváez-Ismael *et al.*, 2011).

3.11.4. Variables Agronómicas

Esas variables se determinaron en plantas con competencia completa en el surco central de los tratamiento sobre un área de 0.8 m².

- a) **Número Vainas por planta:** se contaron las vainas de cada planta seleccionada por cada parcela (20 plantas para la densidad de población alta: 250,000 pl ha⁻¹ y 10 plantas para densidad de población baja: 125,000 pl ha⁻¹); separando vainas vanas de vainas normales para después sacar un promedio por tratamiento (Maqueira-López *et al.*, 2017).
- b) **Longitud de vainas (cm):** Se midieron 10 vainas tomadas al azar de las plantas cosechadas de cada tratamiento a partir de la inserción de la vaina y el pedúnculo hasta el ápice distal de la misma de las plantas cosechadas.
- c) **Número de granos por vaina:** Se contabilizó el número de granos por vaina, para lo cual se tomó una muestra representativa de 10 vainas de cada tratamiento (granos vaina⁻¹ planta⁻¹ tratamiento⁻¹).
- d) **Número Granos por planta:** Se contabilizó el número de granos de cada planta seleccionada (20 plantas para la densidad de población alta: 250,000 pl ha⁻¹ y 10 plantas para densidad de población baja: 125,000 pl ha⁻¹) a la cosecha en cada tratamiento (Maqueira-López *et al.*, 2017).
- e) **Rendimiento de grano por hectárea:** Tomando como base el rendimiento de grano expresado en kg de cada unidad experimental, considerando un área igual a 0.8 m² (0.8 m entre hileras y 1 m del surco central cosechado), se

estimó el rendimiento de grano en tonelada por hectárea (Peña-Calzada *et al.*, 2015).

- f) **Peso de 100 granos:** De cada tratamiento en estudio, se tomaron al azar cien semillas y se registró el peso en gramos en una balanza electrónica (Peña-Calzada *et al.*, 2015).

3.12. Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA); cuando se detectó significancia estadística en las variables estudiadas, se aplicó la prueba diferencia mínima significativa (DMS), a un nivel de significancia $p \leq 0.05$ para las comparaciones de medias. Se utilizó el programa estadístico de diseños experimentales de Olivares (2019).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se enumeran y discuten los resultados de este experimento siguiendo un acomodo de las variables estudiadas discutiendo los resultados, principalmente cuando fueron significativos en base al ANOVA y acomodado por el orden de los factores incluidos en el experimento (A= Niveles de inóculo, B= Genotipos y C= Densidades de población).

4.1. Variables Fisiológicas

a) Días a floración y días a madurez fisiológica. De los tres factores evaluados, se detectó diferencia altamente significativa sólo para el Factor genotipos (Factor B) ($p=0.000$) para las variables días a floración (Cuadro 1 A) y días a madurez fisiológica (Cuadro 4 A). La comparación de medias (Cuadro 3) mostró que Pinto americano fue el más precoz, su tiempo para días a floración y a madurez fueron 38 y 78 días después de la siembra respectivamente; estos datos fueron significativamente menores en los otros dos genotipos. Le siguió el genotipo Pinto Saltillo, con 44 y 86 días a floración y a maduración, respectivamente. Flor de mayo fue el genotipo más tardío en las variables antes mencionadas, con 50 y 98 días a

floración y madurez después de la siembra. La precocidad de una variedad le puede permitir poder completar su ciclo biológico antes de ser afectada por la sequía o heladas o cualquier eventual riesgo que influye en su peso de grano (Bayoumi *et al.*, 2008).

Por otra parte, Rosales *et al.* (2000), quienes investigaron sobre el rendimiento de frijol común bajo sequía en condiciones de campo, reportaron que en años críticos de estrés hídrico, se inició la floración más temprano. Además, disminuye los días de llenado del grano, muestra efecto negativo en la formación del grano y su tamaño y acelera la madurez fisiológica (Tosquy-Valle *et al.*, 2017).

Cuadro 3. Comparación de medias de variables fisiológicas y agronómicas para el factor (B) genotipos.

Genotipos	V. fisiológica		V. morfológica			V. agronómica			
	DF	DM	LG en cm	NV pl ⁻¹	LV en cm	NG V ⁻¹	NG pl ⁻¹	R(tonha ⁻¹)	(PG, g)
G1	50 a	98 a	114.88 a	16.75 a	9.66 c	5.73 a	53.4 a	3.29 a	37.4 b
G2	38 c	78 c	68.79 c	12.29 b	11.09 a	5.81 a	40.33 b	2.44 b	39.8 a
G3	44 b	86 b	89.49 b	16.61 a	10.09 b	5.46 b	45 b	2.76 b	36.2 b

Nota: las medias con la misma letra no son significativamente diferentes; Flor de Mayo (G₁), Pinto Americano (G₂), Pinto Saltillo (G₃), Días a floración (DF), Días a madurez (DM), Longitud de guía (LG) en cm, Número de vainas por planta (NV pl⁻¹), Longitud de Vaina (LV) en cm, Número de granos por vainas (NG V⁻¹), Número de granos por planta (NG pl⁻¹), Rendimiento en toneladas por hectárea R (ton h⁻¹) y Peso 100 granos en gramo (PG, g).

4.2. Variables de Nodulación

Se observó nodulación en los tratamientos donde no se inoculó con *Rhizobium phaseoli* lo que evidencia la presencia de rizobios nativos simbiotes en las parcelas donde se realizó este experimento que actúan en simbiosis con el cultivo (Figura 7).



Figura 7. Imagen de nódulos en frijol de semillas sin inoculación (S.I) y con inoculación (C.I) 30 días después de la siembra.

a) Diámetro de nódulos. El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) solo para el Factor (A) niveles de inoculante (Factor A) (Cuadro 7 A), donde la DMS (Cuadro 4), mostró que los nódulos en las raíces de las plantas donde la semilla fue inoculada, fueron más grandes (2.75 mm) que los nódulos existentes en las raíces donde la semilla no fue inoculada (1.02 mm). Pommeresche y Hansen (2017) expresaron que el contenido de nutrientes en el

suelo, la estructura local del suelo y su aireación son factores que influyen en la distribución y el tamaño de los nódulos.

Cuadro 4. Comparación de medias de variables medidas en los nódulos y variables agronómicas, para el factor (A) niveles de inoculante.

Inoculantes	V. de nódulo	V. agronómicas	
	D N en mm	LV en cm	(PG, g)
S.I	1.02 b	10.47 a	38.75 a
C.I	2.75 a	10.07 b	36.79 b

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes; Sin inoculante (S.I), Con inoculante (C.I), Diámetro de nódulo (DN), Longitud de vaina (LV) y Peso 100 grano (PG, g).

b) Número nódulos por planta Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la Interacción entre el Factor niveles de inoculantes (Factor A) y el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 10 A) para la variable número de nódulos por planta. El análisis de comparación de medias (cuadro 5) mostró que para el genotipo Flor de Mayo no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de inoculación, mientras que para el genotipo Pinto Americano y el Pinto Saltillo se encontró un mayor número de nódulos en el tratamiento con inoculante. Estos resultados encontrados del presente estudios fueron similares a lo reportado por Chipana *et al.* (2017); sin embargo, encontraron mayor número promedio de nódulos en sus tratamientos inoculados con cepas de *Rhizobium* sp. Estas diferencias pudieron ser debido a la deficiencia de fierro en el suelo (Brear *et al.*, 2013). En los suelos alcalinos, la solubilidad del fósforo disminuye debido a que

reacciona con el calcio (Ca) formando compuestos insolubles o de baja solubilidad como los fosfatos de calcio y la deficiencia de este nutrimento reduce en la nodulación con bacterias nitrificantes (Fernández, 2007); eso pudo ser otro factor que influyó en el número promedio de nódulos por planta y en el diámetro de los nódulos, ya que los suelos donde se desarrolló el presente trabajo presentaron un pH 8.5 y de textura arcillosa.

Cuadro 5. Comparación de medias para número de nódulos por planta en la interacción entre los dos niveles de inoculante X los tres genotipos estudiados.

	Flor de Mayo	Pinto Americano	Pinto Saltillo
Sin inoculación	30.25 ab	11.25 c	9.25 c
Con inoculación	13.75 bc	34.00 a	32.00 a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Debido a la interacción entre el Inoculante y genotipo (cuadro 5), el análisis de comparación de medias permite identificar que el Flor de Mayo tuvo un comportamiento inverso a Pinto Americano y Pinto Saltillo. Ya que el Flor de mayo presentó el mayor número de nódulo en la condición sin inoculación, mientras que para el Pinto Americano y Pinto Saltillo, el tratamiento sin inoculación presento 11.25 nódulos por planta y 9.25 nódulos por planta respectivamente. Stoddard (1975) mencionó que muchas leguminosas tienen una cepa específica preferencial de

bacterias para llevar a cabo una nodulación significativa en sus raíces, una vez que establecen el contacto.

4.3. Variables Morfológicas

a) Longitud de Guía. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($p= 0.000$) solo para el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 13 A). La comparación de medias con la DMS, se observó que el genotipo Flor de Mayo fue el más alto y Pinto americano fue el más corto de estos tres genotipos (Cuadro 3). Esta variable es un carácter altamente influenciado por el ambiente, por lo que su expresión es altamente cambiante. Olivera *et al.* (2016) reportaron que la competencia entre las plantas, las características genéticas del genotipo en interacción con el medio en que se desarrolla el cultivo, influyen sobre su longitud de guía (Olivera *et al.*, 2016); también este aspecto puede ser afectado por: la falta de agua, deficiencia en la fertilidad del suelo. Estos factores reducen el tamaño de la planta e impactan considerablemente en el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol (Zaldívar *et al.*, 2017).

4.4. Variables Agronómicas

a) Número de vainas por planta. De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 16 A), esta variable presentó diferencias altamente significativas ($p= 0.004$) para el factor genotipos (Factor B) y también para el factor densidades de población ($p= 0.005$) (Factor C). La comparación de medias para genotipos y densidades de población mostró no hubo significancia entre Flor de mayo y Pinto Saltillo, pero tuvieron mayor número de vainas por planta y superaron estadísticamente a Pinto Americano (Cuadro 3). Generalmente en el cultivo de frijol, mayor sea el número de vainas, mayor será el rendimiento, lo que significa que esta variable es considerada como componente directo en el rendimiento de grano. Quintero-Rodríguez *et al.* (2018) afirmaron que esta variable constituye un fuerte estímulo para incrementar la productividad de las plantas. Al respecto, varios autores señalaron que la variable número de vainas por planta es el principal indicador del rendimiento final en grano seco del frijol común, también permite el seleccionar las variedades de frijol con mejor respuesta agronómica en condición de época tardía (Lamz-Piedra *et al.*, 2016).

Los promedios de vainas del número de vainas las tres variedades se encontraron en un rango de 12.29 – 16.75 vainas planta⁻¹. De la Fé Montenegro *et al.* (2016), reportaron que un número promedio de vainas por planta inferior a 10, se considera bajo. Los valores para esta variables en el presente estudio, fueron superiores a los reportados por Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2015) quienes encontraron valores entre 13.54 a 14.80 vainas planta⁻¹; pero no fueron similares a los encontrados por Olivera

et al. (2016) quienes obtuvieron valores entre 13 a 20 vainas por planta. Según Romero-Feliz *et al.* (2018), la sequía puede afectar la formación de vainas y ocasionar aborto de semilla.

Estas diferencias obtenidas entre los estudios reportados probablemente hayan sido por el efecto del ambiente donde se realizó el estudio, pero también a las características genotípicas varietales (Negrin *et al.*, 2013). Osuna-Ceja *et al.* (2013) afirmaron que el estrés hídrico reduce el número de vainas planta⁻¹, afectando el rendimiento de grano independientemente del método de siembra y genotipo. Por otra parte, Sirpa (2018) y Zaldívar *et al.* (2017) expresaron que el número de vainas cambia según el periodo de siembra, el lugar donde se siembra y de la variedad.

En cuanto al factor densidades de población (Factor C) para la variable número de vainas por planta, se observó mayor número de vainas en la densidad baja (Cuadro 6); eso se debe a la menor competencia entre las plantas por la luz y nutrientes, lo cual genera plantas más vigorosas con frutos de mayor tamaño y biomasa (Calero-Hurtado *et al.*, 2018); Araya y Gutiérrez (2015) afirmaron que el número de vainas por planta es el componente del rendimiento más variable y las plantas de frijol ajustan el número de vainas con el área foliar y la producción fotosintética actual. Este resultado concordó con lo encontrado por Sosa-Rodríguez *et al.* (2017) quienes evaluaron diferentes densidades de plantas. Sobre esto, Alves *et al.* (2008) indicaron que en densidades de población que oscilan entre 100, 000 – 500, 000 pl ha⁻¹, se

observó una disminución en el número de vainas sin verse afectada la producción de grano. En un trabajo de investigación desarrollado por De la Fé Montenegro *et al.* (2016) consideraron una densidad de población de 250, 000 pl ha⁻¹, con un promedio de 8 vainas planta⁻¹, se puede obtener un rendimiento superior a 1.5 ton ha⁻¹. En el presente trabajo, se obtuvieron 13.66 vainas planta⁻¹ con una densidad de población de 250, 000 pl ha⁻¹ obteniendo un rendimiento promedio de 3.41 ton ha⁻¹.

Cuadro 6. Comparación de medias de las variables agronómicas para el factor (C) densidades de población.

Densidades	V. agronómicas		
	NV pl ⁻¹	NG pl ⁻¹	R ton ha ⁻¹
125,000 pl.ha ⁻¹	16.77 a	52.32 a	2.26 b
250,000 pl.ha ⁻¹	13.66 b	40.17 b	3.41 a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes; Numero de vaina por planta (NV pl⁻¹), Numero de granos por planta (NG pl⁻¹) y Rendimiento de granos en toneladas por hectárea (R ton ha⁻¹).

b) Longitud de vaina por planta. De acuerdo con el análisis de varianza de la variable longitud de vaina, se observó que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre niveles de inoculantes (Factor A) (Cuadro 18 A); la comparación de medias para esta variable del tratamiento de semillas no inoculadas fue superior a la del frijol inoculado (Cuadro 4). Esta diferencia de expresión podría ser atribuida a los factores bióticos o abióticos que no han sido determinados en este presente estudio.

El ANOVA para la variable longitud de vaina por planta mostró que existieron diferencias altamente significativas ($p= 0.000$) para el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 18 A). La comparación de medias utilizando DMS mostró que Pinto americano fue superior a las otras dos variedades; la variedad con el valor promedio más bajo fue Flor de Mayo (Cuadro 3). Sobre esto, se afirmó que en frijol, la longitud de vaina depende principalmente de la genética de cada genotipo (Sirpa, 2018).

c) Número granos por vaina. De acuerdo con la ANOVA, esta variable presentó que hubo significancia ($p \leq 0,05$) para el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 20 A) y en la comparación de medias para este factor, la DMS no presentó diferencias significativas entre Pinto americano y Flor de mayo, pero ambos superaron estadísticamente a Pinto Saltillo con valores de 5.81 para Pinto Americano y 5.73 para Flor de mayo, pues Pinto Saltillo alcanzó 5.46 (Cuadro 3). El promedio de granos por vaina entre los tres genotipos fue 5.67, valor superior al reportado por Negrin *et al.* (2013) quienes obtuvieron un promedio de 5.08 granos vaina⁻¹. Inclusive, el valor reportado en Pinto Americano (5.81 granos vaina⁻¹) fue superior al reportado por Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2015) con un valor de 5.67 granos vaina⁻¹. El número de granos por vaina y de vainas por planta son componentes del rendimiento de grano muy importantes en el cultivo de frijol (De la Fé Montenegro *et al.*, 2016), los cuales están bajo un control genético y cuya expresión varía con las condiciones ambientales (la sequía y a la disponibilidad de humedad oportuna) de cada región (Sirpa, 2018).

d) Número granos por planta. De acuerdo con el ANOVA a la que fue sometida esta variable, se encontró diferencia altamente significativa ($p= 0,008$) para el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 23 A). La comparación de medias mostró que el genotipo Flor de mayo presentó mayor número de granos planta⁻¹ (53.40) y superó al resto de los genotipos (Cuadro 3). El valor más bajo fue para el genotipo Pinto americano, aparentemente debido a su hábito de crecimiento y a su susceptibilidad a la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*). Este valor fue superior a los encontrados por Romero-Félix *et al.* (2018), bajo condiciones de sequía quienes evaluaron 12 genotipos de frijol; sin embargo, bajo condiciones de riego, solo seis de ellos superaron los valores obtenidos en el presente estudio.

Para esta misma variable, el ANOVA también mostró diferencias altamente significativas ($p= 0.000$) para el Factor densidades de población (Factor C) (Cuadro 23 A). Se encontró mayor número de granos planta⁻¹ en la densidad baja (125, 000 pl ha⁻¹) (Cuadro 6), esto debido a que al tenerse un mayor espaciamiento plantas y permitiendo una mayor expresión del carácter (Calero-Hurtado *et al.*, 2018). Lépiz-Ildefonso *et al.* (2010) reportaron que en el cultivo de frijol, existe un fenómeno denominado compensación de componentes, lo que significa que al aumentar alguno de los indicadores de rendimiento se reducen los otros, por lo que al aumentar la longitud de vainas y de granos produciendo una reducción en el número de vainas y menor granos planta⁻¹.

e) Rendimiento de grano El ANOVA para esta variable demostró que hubo diferencias altamente significativas ($p= 0,007$) para el Factor genotipos (Factor B) y también para el Factor densidades de población (Factor C) (Cuadro 25 A).

La comparación de medias entre los genotipos mostró que la variedad Flor de mayo fue estadísticamente mayor en el rendimiento de grano por hectárea comparado a las otras dos variedades, sin embargo no hubo diferencias significativas entre las variedades Pinto Saltillo y Pinto americano (Cuadro 3). Los valores de las tres variedades (Flor de Mayo: 3.29 ton ha^{-1} , Pinto Saltillo: 2.76 ton ha^{-1} y Pinto Americano: 2.44 ton ha^{-1}) del presente estudio, superaron el rendimiento promedio de frijol de los últimos 36 años (1980-2016) en 21 estados de la República Mexicana en el ciclo de primavera-verano bajo riego, que alcanzó un rendimiento de grano promedio de 1.50 ton ha^{-1} , mientras que en los 10 otros estados durante el ciclo de otoño-invierno bajo riego se registró un rendimiento de grano promedio de 1.40 ton ha^{-1} (Prieto-Cornejo *et al.*, 2019). Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2015) quienes trabajaron con variedades diferentes, encontraron que la línea más precoz en días a madurez fue la más rendidora (la línea SENO-70 con un rendimiento 1.6 ton ha^{-1}), un factor que le permitió evitar muchos riesgos del clima que afectarían la floración, la madurez y la productividad del cultivo. Sin embargo, en el presente estudio, fue lo contrario, ya que la variedad Flor de Mayo fue la más tardía, fue la que mostró mayor rendimiento promedio (3.29 ton ha^{-1}) de las tres variedades estudiadas, probablemente por su hábito de crecimiento indeterminado, con mayor número de ramas y también por no ser afectado por la pudrición carbonosa. Otros autores han evaluados estos genotipos bajo condiciones temporal y temporal más riego

suplementario, encontrando rendimientos inferiores a los que se presentan en este estudio (Osuna-Ceja *et al.*, 2013). Acosta-Gallegos *et al.* (2010) analizaron el rendimiento promedio de 16 variantes de la variedad de frijol Flor de mayo, encontraron que el mayor rendimiento (4.15 ton ha^{-1}) fue para el genotipo Celaya (4) R; sin embargo, el resultado obtenido de flor de mayo en el presente estudio de fue 3.29 ton ha^{-1} . Argaw (2016) expresó que la productividad del frijol común depende de la variedad debido a la variación del rendimiento de variedades de frijol en diferentes sitios ambientales.

La comparación de medias para la variable rendimiento de grano ton ha^{-1} para el Factor densidades de población (Factor C) mostró diferencias altamente significativas ($p= 0.000$) (Cuadro 6), la densidad alta ($250,000 \text{ pl ha}^{-1}$) tuvo mayor rendimiento promedio (3.41 ton ha^{-1}) que la densidad baja ($125,000 \text{ pl ha}^{-1}$) con un rendimiento promedio (2.26 ton ha^{-1}). Sosa-Rodríguez *et al.* (2017) afirmaron que generalmente cuando hay mayor número de plantas por unidad de superficie, hay menor número de vainas por planta, pero mayor rendimiento y eso se debe al mayor número de plantas por hectárea. Sobre este factor, Osuna-Ceja *et al.* (2012) indicaron que al modificar la densidad poblacional en el cultivo de frijol se trató de manejar favorablemente su rendimiento, es decir la alta densidad dio un mayor número de plantas, lo que incremento la productividad de este cultivo.

f) Peso de 100 granos. Se realizó el ANOVA para esta variable y se encontró significancia estadística ($p \leq 0,05$) para el Factor niveles de inoculante (Factor A) y también mostro que hubo diferencias altamente significativas ($p= 0,001$) para el Factor genotipos (Factor B) (Cuadro 27 A). Los resultados de la comparación de medias usando la DMS mostraron diferencias significativas entre los niveles de inoculantes (Cuadro 4), donde se observó que el frijol no inoculado presentó el mayor peso promedio que el frijol inoculado.

Armenta-Bojórquez *et al.* (2010) afirmaron que las cepas nativas pudieron presentar mayores efectividades por estar adaptadas a la condiciones edafoclimáticas de la zona. Por otro lado, este resultado no coincidió con los de Calero-Hurtado *et al.* (2017 y 2019) quienes en su investigación, encontraron que el frijol inoculado con *Rhizobium phaseoli* presentó mayor valor de peso; y que el uso de bioproductos en el ciclo tardío en el cultivo de frijol aumenta los indicadores de rendimiento como peso de 100 granos, número de vainas por planta, número de semillas por vaina y la altura promedio de las plantas.

En cuanto a genotipos, el Pinto Americano presentó mayor peso promedio de granos estadísticamente en comparación al resto. Mientras que no hubo diferencias significativas entre los genotipos Flor de mayo y Pinto saltillo (Cuadro 3). El peso de grano se relaciona directamente con el tamaño del grano y el peso de 100 granos de las tres variedades evaluadas se clasificó como mediano (de 26 g – 40 g por 100 granos) de acuerdo con la escala propuesta por CIAT (1987).

5. CONCLUSIONES

- Para la variable número de nódulos por planta, los tres genotipos se vieron afectados positivamente con los tratamientos de inoculación. Pero, la interacción del *Rhizobium phaseoli* con los genotipos Pinto Americano y Pinto Saltillo presentaron los mejores resultados estadísticos.
- En esta investigación, el genotipo Flor de mayo fue el más destacado en las siguientes variables: DF, DM, LG, NV P⁻¹, NG P⁻¹, y R (ton ha⁻¹), pues fue siempre superior estadísticamente al resto de genotipos.
- Para la variable rendimiento de grano por hectárea, las tres variedades bajo estudio mostraron un mayor valor con la densidad de población más. En cuanto a la densidad baja, se obtuvo un mayor promedio de rendimiento de grano por planta, esto fue posible porque se presentó menor efecto de competencia intrapoblacional.
- Para las variables de longitud de vaina y peso de 100 granos se encontró diferencia significativa estadística para el efecto de inoculo, encontrando mayores valores numéricos en estas variables cuando no se aplicó el *Rhizobium phaseoli* en las semillas de frijol sembradas.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios similares varias veces en otras localidades de Nuevo León, utilizando densidades de población similares y el mismo inoculante para comprobar si los tres genotipos mantienen la misma tendencia bajo los tratamientos de inoculación utilizados.
- Identificar y evaluar a través de estudios el nivel de competencia de las cepas nativas con las cepas introducidas.

7. LITERATURA CITADA

- Abd-Alla M. H., F. M. Morsy, A-W. E., Enany, E. and Ohyama, T. (2012). Isolation and characterization of a heavy-metal-resistant isolate of *Rhizobium leguminosarum* bv *viciae* potentially applicable for biosorption of Cd^{2+} and Co^{2+} . *Int Biodeter Biodegr.*, (67): 48-55.
- Acosta-Gallegos, A. J., Sánchez, G. B. M., Mendoza, H. F. M., Jiménez, H. Y., Salinas, P. R., Rosales, S. R., Navarrete, M. R., Zandate, H. R., Alvarado, M. S., & Padilla, R. J. S. (2010). Rendimiento y reacción a enfermedades en frijol tipo Flor de Mayo en riego y temporal. *Rev. Mexicana cienc. agric.*, 1(1): 65-75.
- Acosta-Gallegos, C. F., Vázquez, V. M. G., González, C. N. A., Herrera, R. R. (2014). *Biofertilizantes microbianos*. 1era edición. pp. 1-431.
- Acosta-Gallegos, J., Vargas-Vázquez, P. y Jeffrey, W. 1996. Effect of sowing date on the growth and seed yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in highland environments. *Field Crops Res.*, (49): 1-10.
- Agroligne, (2018). Les légumineuses, un marché en plein croissance. 2^{ieme} salon international pour l'Éthiopie. L'essentiel de l'agroalimentaire et l'agriculture - n°106, pp. 1-50.

- Aguilar-Ramírez, O. J., Gallegos-Morales, G., Hernández-Castillo, D. F., Cepeda-Siller, M. y Sanchez-Aspeytia, D. (2019). Incidencia y severidad del tizón común en plantas de frijol inoculados con *Rhizobium phaseoli*. *Rev. Mexicana cienc. agric.*, 10(2): 325-336.
- Álvarez-Robles, F., Lozano-Gutiérrez, J., Martínez-Contreras, C. A., España-Luna, M. P. y Lara-Herrera, A. (2017). Insectos presentes en el cultivo del frijol. *Entomol. Mex.*, (4): 55-60.
- Alves, A. F.; Andrade, M.; Vieira, N.; & Rezende, P. M. (2008). Grain yield of four new cultivars based on plant density. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.*, (51): 242-243.
- Ángeles-Núñez J. G. y Cruz-Acosta, T. (2015). Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol. *Rev. Mexicana cienc. agric.*, 6(5): 929-942.
- Araya, V. R. y Gutiérrez, M. V. (eds). 2015. Producción de semilla de alta calidad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, CRC. 1ª. ed.- San José, C.R.: Ediciones Didácticas Nexo E.I.R.L., 2016. 238 p.
- Argaw, A. (2016). Effectiveness of *Rhizobium* inoculation on common bean productivity as determined by inherent soil fertility status. *J. Crop Sci. Biotechnol.*, (19): 311-322.

- Armenta-Bojórquez, D. A., Garcia-Gutierrez, C., Camacho-Báez, R., Apodaca-Sánchez, A M., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai.*, 6(1): 51-56.
- Bayoumi, T. Y., Eid, M. H and Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *Afri. J. Biotech.*, (7), 2341-2352.
- Bravo, E. M., Nieuwkoop, M. V., Contreras, J. R., Jiménez, J. L. y Morales G. M. (1993). El potencial de la labranza de conservación en la Mixteca Oaxaqueña. México, D.F.: CIMMYT.
- Brear E. M., Day, D. A., Smith, P. M. (2013). Iron: an essential micronutrient for the legume-rhizobium symbiosis. *Frontiers in Plant Science*, p 4. doi: 10.3389/fpls.2013.00359.
- Brechelt, A. (2004). Manejo ecológico del suelo. República Dominicana: Red de plaguicidas y sus alternativas para América Latina. P. 1-28. Recuperado el 8 de noviembre de 2020 en: https://bioinsumosagric.ucoz.com/_Id/0/90_Manejo_Ecologic.pdf.
- Broughton, W. J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P. y Vanderleyden, J. (2003). Beans model food legumes. *Plant Soil*, (252): 55–128.
- Bueno-Jáquez, J. E., Alonso-López, A., Volke-Haller, V., Gallardo-López, F., Ojeda-Ramírez, M. M. y Mosqueda-Vázquez, R. (2005). Respuesta del papayo a la

- fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un luvisol. *Terra Latinoamericana*, 23(3): 409-415.
- Cabrera, B. A., Poch, F. A. y Martínez, S. R. (2016). Actividad antifúngica de extractos acuosos de *Spathodea campanulata* Beauv. sobre la roya del frijol común (*Uromyces phaseoli* Pers. (Wint) var. *typica* Arth). *Ctro. Agr.*, 43(1): ISSN 0253-5785.
- Calero Hurtado, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 7(1): 88-100.
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Quintero-Rodríguez, E., Olivera-Viciedo, D., y Peña-Calzada, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria.*, 20(2): 295-308.
- Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, E y Pérez-Díaz, Y. (2017). Utilización de diferentes bioproductos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrotecnia de Cuba*, 41(1): 17- 24.
- Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R. y Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.*, 10(2): 173-178.
- CATIE, (2018). Cultivo de frijol. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en Costa Rica. Recuperado el 10/08/2020 en:

<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-frijol.pdf>.

Cedano, J., De la Rosa, D., Sánchez, A. y Oviedo, F. (2000). Fraccionamiento de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Valle de San Juan. *Agron. Mesoam.*, 11(1): 151-154.

Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, 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(166): 1-9.

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) (2018). Cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris*. Programa de granos básicos. 37 p.

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), (2008). Guía Técnica para el Manejo de Variedades de Frijol. Programa de Granos Básicos. San Andrés, La Libertad, El Salvador, C.A. CEVAF. 200. Fertilización en frijol. (En línea) Consultado: 15 de junio de 2020. Disponible: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>.

Chipana, V., Clavijo, C., Medina, P. y Castillo, D. (2017). Inoculante de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes concentraciones de *Rhizobium etli* y su influencia sobre el rendimiento del cultivo. *Ecol. Apl.*, 16(2): 91-98.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura tropical) (1984). Morfología de la planta de frijol común; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad

Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Debouck, Daniel G.; Hidalgo Rigoberto. Producción: Ospina O., Héctor F.; Flor M., Carlos A. Cali, Colombia. CIAT. 56 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1988). Simbiosis leguminosa-Rhizobio; manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Ed. rev. Proyecto CIAT-UNDP de evaluación, selección y manejo de la simbiosis leguminosa-rizobio para aumentar la fijación de nitrógeno. Sección de Microbiología de Suelos del Programa de Pastos Tropicales y Sección de Microbiología de Suelos del Programa de Frijol (camps.). Cali, Colombia. 178 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (1994). Problemas de producción del frijol en los trópicos. 2 ed, Pastor-Corrales, M, y Schwartz, H. F. Cali, Colombia, 805 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Schoonhoven, A. van y M. A. Pastor Corrales (comps.). Cali, Colombia. 56 p

Cid, R. J. A., Reveles H, M., Velázquez V, R. y Mena C, J. (2014). Producción de semilla de frijol. Folleto Técnico No. 63. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. Calera, Zacatecas, México, 69 p.

Colás-Sánchez, A. Díaz-Pérez, B. Rodríguez-Urrutia, A. Gatorno-Muñoz, S. y Rodríguez-López, O. (2018). Efecto de la biofertilización en la morfo fisiología

y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*, 45(4): 34-42.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2019). Organismo de Cuenca Rio Bravo Dirección Técnica. Dato climáticos de Marín N. L.

Dabessa, A., Abebe, Z. y Bekele, S. (2018). Limitations and strategies to enhance biological nitrogen fixation in sub-humid tropics of Western Ethiopia. *J. Agric. Biotech. Sustain. Dev.*, 10(7): 122-131.

Daccache, A., Ciurana, J. S., Rodríguez, D. J. A. and Knox, J. W. (2014). Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region”, *Environ. Res. Lett.*, 9(12): 1-13.

David S. (1998). Producing bean seed: handbooks for small scale bean producers. Handbook 1. Network on Bean Research in Africa, Occasional Publications Series, No. 29. CIAT, Kampala, Uganda. 70p.

De la Fé Montenegro, C. F., Lamz P. A., Cárdenas T. R. M., y Hernández P. J. (2016). Agronomic response of newly-introduced common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Cuba. *Cultivos Tropicales*, 37(2): 102-107.

DICTA-SAG (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, de la Secretaría de Agricultura y Ganadería) (2013). El Cultivo del Frijol. 3ra edición. Tegucigalpa, M.D.C., Honduras C.A. 44 p.

- Domínguez A., Pérez, Y., Alemán, S., Sosa, M., Fuentes, L., Darías, R., Demey, J., Rea, R y Sosa, D. (2014) Respuesta de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. al estrés por sequía. *Biotechnol. Veg.*, (14): 29-36.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1): 00.
- Espinoza-García, N., Martínez-Martínez, R., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C., Heredia-García, E. y Velasco-Velasco, V. A. (2016). Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fitotec. Mex.*, 39(3) : 215-223.
- Estévez de Jensen, C. R. Meronuck, R., Percich, J. A. (2000). Efficacy of bacillus subtilis and two Rhizobium strain for the management of bean root in Minesota. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.*, (33): 33-34.
- FAO, (2019). La biodiversité, si cruciale pour notre alimentation et notre agriculture, disparaît de jour en jour. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/1181464/icode/>
- FAO. (2016). Légumineuses Des graines nutritives pour un avenir durable. P 40. <http://www.fao.org/3/a-i5528f.pdf>.
- FAO. 2018. Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 292 páginas. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA*. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 41(2): 51-57.

- Fernández-Pascual M., María N., Rosario F. (2002). Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes. Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC. 195-202
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) (2016). Panorama agroalimentario frijol. P. 1-30. En línea consultado 26 de marzo 2019: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200638/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) (2019). Panorama agroalimentario frijol. P. 1-22. En línea consultado 8 de diciembre 2020. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/01/Panorama-Agroalimentario-Frijol-2019.pdf>.
- Flores, M. L. (2015). El cultivo de frijol en México. rdu. 16(2): 1607 – 6079.
- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. Universidad de Salamanca. CT., (3): 173- 186.
- González, L. M., Guerrero, Y. R., Rodríguez, A. F., García, M. N., Vázquez, M. N. (2016). Effect of bioactive products in biofertilized bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. Cultrop., 37(3): 165-171.
- González-Cueto, O., Abreu-Ceballo, B., Herrera-Suárez, M. y López-Bravo, E. (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. Rev. cienc. téc. agropecu., 26(1): 71-77.

- Guzmán-Soria, E., Garza-Carranza, M. T., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S. y Hernández- Martínez, J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. *Agron. Mesoam.*, 30(1): 131-146.
- Hafeez, Y. F, Zahoor, A., Kauser, A. M. (1988). Effect of salinity and inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient up take of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Plant and soil.*, 106(1): 3–8.
- Henríquez, G. R., Prophete, E. y Orellana, C. (1992). Manejo agronómico del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 98 p.
- Hernández S. L. y Salido, G. Y. (2019): “Influencia de la aplicación de Azofert inoculante a base *Rhizobium* en el cultivo del fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. Delicias 364 en finca Juan Sáez. Manatí”, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/01/cultivo-frijol-comun.html>
[//hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1901cultivo-frijol-comun](https://hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1901cultivo-frijol-comun)
- Hernández-Fonseca, C. J. (2009). Fertilización. Manual de recomendaciones técnicas cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San José, CR. 77 p.
- Hernández-Pérez, D., Díaz-Castellanos, M., Quiñones-Ramos, R., Santos-Bermúdez, R., Portal-González, N. y Herrera-Isla, L. (2017). Empleo de rizobacterias para la protección de plantas de frijol frente al tizón ceniciento (*Macrophomina phaseolina*). *Centro Agrícola*, 44(1): 5-12.

Hirsch, A. M. (1992). Development biology of legume nodulation, *New Phytol.*, (122): 211-237.

Hu, W. X., Yang, J. L., Chen, B., Zhao, W., Meng, Y., Wang, Y., Zhou, Z. y D. Oosterhuis. D. (2016). Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.*, (191): 139-149.

IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior) (2015). Comercio Exterior. Bolivia: productos alimenticios con potencial exportador. Santa Cruz – Bolivia. Cartilla N° 230. p 13. <http://ibce.org.bo/images/publicaciones/ce-230-Bolivia-Productos-Alimenticios-Potencial-Exportador.pdf>.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (2008). Guía de identificación y manejo integrado de las enfermedades del frijol en América Central / IICA/ Proyecto Red SICTA, COSUDE. Recuperado el 15 de octubre de 2019. <http://repiica.iica.int/docs/B0891E/B0891E.pdf>

INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) (2009). Enciclopedia de los Municipios de México: Estado de Nuevo León: Marín. Recuperado de: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19034a.html>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León. Recuperado de: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/N.L_ANUARIO_PDF.pdf

INIFAP-SAGARPA, (2013). “Recomendaciones técnicas para obtener mayor productividad del cultivo de frijol en la Llanura Costera de Nayarit”. IXCUINTLA Santiago Escuintla, Nayarit. México. P. 1-30.

INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria) 2009. Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua. Consultado el 10 de julio de 2020. <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

Lamz-Piedra, A., Cárdenas-Travieso, R. M., Ortiz-Pérez, R., Montero-Tavera, V., Martínez-Coca, B., de la Fé Montenegro, C. F., Duarte-Leal, Y. y Alfonso-Duque, L. E. (2016). Evaluación del comportamiento agro-morfológico a partir de la caracterización de la variabilidad en líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) sembradas en época tardía. *Cultivos Tropicales*, 37(2): 108-114.

Lardizábal, R., Salvador A., Rafael, S. (2013). Manual de producción de Frijol. USAID. 3 p.

Lépiz-Ildefonso, R., López-Alcocer, J., Sánchez-González, J., Santacruz-Ruvalcaba, F., Nuño-Romero, R. y Rodríguez-Guzmán, E. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Rev. Fitotec. Mex.*, 33(1): 21-28.

Lépiz-Ildefonso, R., Sánchez, S. P., López, E. A., López' J. J. A., Chavarín, I. E. y Meza, K. E. V. 2015. El cultivo del frijol en Jalisco. Tecnología para altos rendimientos. Universidad de Guadalajara. 54 p.

- Levi, R. S. R. (2014). Evaluación de tres densidades de siembra en los genotipos de frijol JU 2005-1004-2 y JU 2006-1052-9; La Gomera escuintla. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo con énfasis en cultivos tropicales en el grado académico de licenciado. Universidad Rafael Landívar. 60 p.
- Lewis, J. A. and Papavizas, G. C. (1980). Integrated control of *Rhizoctonia* fruit rot of cucumber. *Phytopathology*, (70): 85-89.
- López, A. J., Lepiz I. R., González, E. D., Rodríguez, M. R., López, A. E. y Olalde, P. V. (2017). Caracterización morfológica y bioquímica de Cepas de *Rhizobium* en frijol común silvestre y domesticado. *Rev. Fitotec. Mex.*, 40 (1): 73–81.
- López, M. F. (2014). Consumo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el municipio de Bella Vista, Chiapas. Tesis para obtener el título de: Ingeniero Agrónomo Administrador. Universidad Autónoma Agrario Antonio Narro. 64 p.
- López-Pérez, J. P. y Boronat Gil, R. (2016). Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias. Estudio en el laboratorio de educación secundaria. *Rev. Eureka enseñ. divulg. cienc.*, 13 (1): 203-209.
- Maldonado, A. L. J., Longoria G. C. S., Longoria G. G. A. y Martínez M. E. A. (2013). Nuevo León: Agenda de Innovación Agroindustrial, 4.^a Cuarta. México. Fundación PRODUCE Nuevo León, A. C. 172 p.
- Maqueira-López, L. A., Rojan-Herrera, O. M., Samuel, A. P., y Walfredo-Torres, N. W. (2017). Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) En la localidad de los palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(3): 58-63.

- Martha-María, H. I. (2018). Descripción cuantitativa de roya (*Uromyces appendiculatus*) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) en dos variedades de fréjol con diferente nivel de resistencia. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas carrera de ingeniería agronómica. 80 p.
- Martínez, J. y Peñate, L. (2015). Variabilidad patogénica de *Pseudocercospora griseola* causante de la mancha angular del frijol común en Honduras. Zamorano, Honduras. 28 p.
- Martínez, T. J. y López, I. (2000). *Rhizobium* y su destacada simbiosis con plantas. 198 p.
- Martínez-Villarreal, R., Garza-Romero, S. T., Moreno-Medina, R. V., Hernández-Delgado, S. y Mayek-Perez, N. (2016). Bases bioquímicas de la tolerancia al estrés osmótico en hongos fitopatógenos: el caso de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Revista Argentina de Microbiología, (48): 347-357.
- Matos, C. G. y Zuñiga, D. D. (1998). Comportamiento de cepas nativas de rizobios aisladas de la costa de Perú en dos cultivares de pallar (*Phaseolus lunatus* L.) en Ecología. (1): 19-24.
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación Biológica de Nitrógeno. UDO Agrícola, 4(1): 1-20.
- Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cultivos Tropicales, 27(3): 55-62.

- Mendoza-Jiménez, Y. L., Eusebio-Moreno, J. C., Álvarez-García, R., Abreu-Corona, A., Vargas-Hernández, G., Téllez-Jurado, A. y Tovar-Jiménez, X. (2018). Actividad antioxidante de los hidrolizados proteicos del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) cv negro primavera-28 y flor de durazno. *Biotecnia: Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 20(2): 25-30.
- Morad, M., Sara, S., Alireza, E., y Chaichi, M. R. 2013. Effects of seed inoculation by *Rhizobium* strains on yield and yield components in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int. J. Biosci.*, (3): 134-141.
- Nápoles, G. M. C., Cabré, P. J. C., Onderwater, R., Wattiez, R., Forte, I. H., González, L. M. y Vázquez, M. N. (2016). Signals produced by *Rhizobium leguminosarum* in the interaction with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 37(2): 37-44.
- Narváez-Ismael, K. S., Marchena-Williams, R. H., Watler-Reyes, J. W. y Enrique-Cordón, S. (2011). Rendimiento de dos variedades mejoradas de frijol, sembrados al voleo y al espeque, en Moss Pam, Waspam, Rio Coco. *Ciencia e Interculturalidad*, 9(2): 112-127
- Negrin, B. A., Pardo, H. A. y Mazorra, C. C. (2013). Estudio comparativo de variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelos del municipio Morón. *Centro Agrícola*, 40(4): 79-85.
- Olivares, S. E. (2019). Versión 1.8. Paquete Computacional de Análisis Estadísticos, FAUANL.

- Olivera, V. A., Morales, G. A., Batista, S. F., Alfonso, I. A., Rodríguez, M. J y Montero, M. E. M. (2016). Comportamiento agroproductivo de diferentes variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la finca “Las María” del municipio Primero de Enero. *Universidad y Ciencia*, 5(2): 52-78.
- Osuna-Ceja, S. E., Reyes, L., Padilla, J. S., Rosales, R., Martínez, M. A., Acosta, J. A. y Figueroa, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Rev. Mexicana cienc. Agric.*, 4(8): 1209-1221.
- Osuna-Ceja, S. E., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, S. J. y Martínez-Gamiño, A. M. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Rev. Mexicana cienc. Agric.*, 3(7): 1389-1400.
- Pacheco M., Hernández A., Alonso M., Puldón V., García A., Arap R. (2016) Aspectos generales sobre el frijol común y su importancia. La cadena de valor del frijol común en Cuba. Editorial Unión Europea y Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Perico, Cuba, pp. 17-20
- Parreira, M. C., Alves, P. L. C. A. y Peña, H. C. L. A. (2011). Influencia de las malezas sobre el cultivo de frijol en función de espaciamiento y de la densidad de plantas. *Planta dañina*, 29(4): 761-769.
- Parsons, B. D. (2010). Manuales para educación agropecuaria. Producción vegetal. 3ª ed. México, editorial TRILLAS, 69 p.

- Peña-Calzada, K., Rodríguez-Fernández, C. J y Santana-Sotolongo, M. (2015). Comportamiento productivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ante la aplicación de un promotor del crecimiento activado molecularmente. *Avances*, 17(4): 327-337.
- Pérez-Pérez, M. L., Sánchez, L. C., Chávez, S. E., González-Vega, I. R., Díaz. R. A., Flores, B. J., Soto-Parra, M. J. y Flores-Córdova, A. M. (2020). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biocencia*, 22(1): 117-125.
- Perret, X., Staehelin, C., Broughton, W. J. (2000). Molecular Basis of Symbiotic Promiscuity. *Microbiol. Mol. Biol Rev.*, 64 (1): 180-201.
- Pierre, C. (2013). Évaluation de lignées de haricot riche en fer (Fe). Catholic Relief services. 22 p.
- Pommeresche, R. y Hansen, S. (2017): Examinando la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas. FertilCrop Documento técnico. Descarga en www.fertilcrop.net
- Prieto-Cornejo, R. M, Matus-Gardea, A. J., Gavi-Reyes, F., Omaña-Silvestre, M. J., Brambila-Paz, J. J., Sánchez-Escudero, J. y Martínez-Damián, A. M. (2019). Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Rev. fitotec. Mex.*, 42(2): 173-182.

- Quintero-Rodríguez, E. Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y. y Enríquez-Gómez, L. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3): 73-80.
- Quinto, C., Cárdenas, L. (2007). Diálogo para ganar: interacción simbiótica entre una bacteria del suelo y el frijol. *Biotecnología V14 CS3.indd 273*. http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_24.pdf
- Ramírez-Treviño, S., Ordoñez-López, L. E., España-Navejar, S. P., Garza-Alonso, C. A. (2018). *Cultivos Básicos (Tomo I)*. Editorial Facultad de Agronomía UANL. Monterrey, Nuevo León, México. 95 p.
- Rodríguez, F. H. y Rodríguez, A. J. (2011). *Métodos de análisis de suelo y plantas: criterios de interpretación*. Trillas. México. 2ª. Ed. 239 p.
- Rodríguez-Rodríguez, J. R, Tosquy-Valle, O. H y López-Salinas, E. (2015). Genotipos de frijol negro y su tolerancia a sequía terminal en Veracruz, México. *ECORFAN Ciencias de la Biología y Agronomía. Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I*. ©ECORFAN, Texcoco de Mora-México. (1): 161-170.
- Rodríguez-Rodríguez, J. R., López-Salinas, E. y Tosquy-Valle, O. H. (2014). Componentes del rendimiento de frijol negro en diferentes fechas de siembra durante ciclo otoño-invierno en el norte de Veracruz, México. *Rev. biológico agropecuaria Tuxpan* 2(3): 266-270.

- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., y Aguilar-Rincón, V. H. (2018). Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común. *Acta universitaria*, 28(6): 20-32.
- Rosales, R. S., Ramírez, P. V., Acosta, J. A., Castillo, F. G. y Kelly, D. J. (2000). Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia*, 34(2):153-165.
- Saavedra, D. A. C., Martínez, H. F. C., Nicolás, J. R., Feliberto F. G. C., Ramiro R. G. F., Ángel V. C. M. (2017). Rizobacterias que promueven el desarrollo e incremento en productividad de *Glycinemax* L. *Ciencias Agrarias. CiencTecn.*, 10(1): 7-15.
- SAGARPA, (2016). Planeación agrícola nacional 2017-2030. 63 p.
- SAGARPA. (2016). Manual de plagas y enfermedades en frijol. Campaña manejo fitosanitario del frijol. Comité estatal de Sanidad vegetal de Guanajuato. A.C. 24 p.
- Saldaña, A. G. M. (2017). Aislamiento e Identificación de Cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* de Suelo de la Presa de la Juventud de Marín, Nuevo León. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. 4(7): ISSN 2007 – 8412.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, consultado el 20 de agosto de 2019. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2018). Fecha de Siembras y Cosechas en México. Encontrado el 19/12/2020 en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/fecha-de-siembras-y-cosechas-en-mexico?idiom=es>.
- Sirpa, A. R. (2018). Comportamiento de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidos a dos densidades de siembra en la Estación Experimental Sapecho –Alto Beni. *Apthapi* 4(1): 978 – 992.
- Sosa-Rodríguez, A. A., Ledea-Rodríguez, L. J., Estrada-Prado, W. y Molinet Salas, D. (2017). Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa. *Agron. Mesoam.* 28(1):207-211.
- Spaink, H. P. (2000). Root nodulation and infection factors produced by rhizobial bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* (54): 257–288.
- Sprent, J. I. y Raven, J. A. (1985). Evolution of nitrogen-fixing symbiosis. *Proceeding Royal Society of Edimburg.* 85(4): 215-237.
- Stoddard, C. D. (1975). Leguminosas: Mayores y Mejores cosechas, como aprovechar el nitrógeno del aire. *Agricultura de las Américas* 8(24): 28-29.
- Tang, M. (1986). Factores que afectan la simbiosis *leguminosa-rhizobium*. *Pastos y Forrajes*, 9(3): ISSN 2078-8452. Fecha de acceso: 16 marzo. 2021. Disponible

en:<https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1489>.

- Tarjuelo, J. M., Rodríguez-Díaz, J.A., Abadía, R., Camacho, E., Rocamora, C. and Moreno, M. A. (2015). "Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies", *Agricultural Water Management*, (162): 67-77.
- Tijerina-Ramírez, N., Lira-Méndez, K., Moreno-Medina, R. V., González-Prieto, M. J. y Mayek-Perez, N. (2014). Efecto del estrés osmótico in vitro en el crecimiento, patogenicidad y producción de osmolitos en *Macrophomina phaseolina*. *Rev Mex Mic.*, (39) 31-39.
- Tofiño-Rivera, A., Royero-Lopez, L. y Ortega-Cuadros, M. (2016). Compatibilidad in vitro de agroquímicos, bioinsumos y aceite esencial en el control de *Macrophomina phaseolina* aislado de frijol. *Vitae* 23 (1): S473-S477
- Torres-Tamayo, E., De la Caridad, (2017). Influencia de la aplicación del *Rhizobium* en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Delicias 364 en el Municipio Manatí. Tesis en opción para obtener el grado de Ingeniero agrónomo. Ministerio de Educación Superior Universidad de las Tunas Facultad de Ciencias Agrícolas, Cuba. Recuperado el 10 de julio de 2020: <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/4515/1/tesis%20Final%20eilin.pdf>
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Zetina-Lezama, R., Villar-Sánchez, B. y Rodríguez-Rodríguez, J. R. (2017). Producción de genotipos de frijol negro en

condiciones de humedad residual y sequía terminal. *Terra Latinoamericana*, 35(1): 29-39.

Valdez, I. S., Gallegos, J. A. A., Pérez, F. J. I., Serna, R. R. y Robles, E. I. C. (2009). Pinto Saltillo: Variedad mejorada de frijol para el estado de Durango. centro de investigación regional norte centro campo experimental valle del Guadiana. ISBN: 978-607-425-134-0

Vance, C. P. (1997) Enhanced Agricultural Sustainability Through Biological Nitrogen Fixation. In: Legocki A., Bothe H., Pühler A. (eds) Biological Fixation of Nitrogen for Ecology and Sustainable Agriculture. NATO ASI Series (Series G: Ecological Sciences), vol 39. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59112-9_36

Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C. y Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, *Terra Latinoamericana*, 38(2): 333-345.

Zahran, H. H. (1999). *Rhizobium*-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. *Microbial Mol Biol Rev.*, 63(4): 968–989.

Zahran, H. H., Sprent, J. I. (1986). Effects of sodium chloride and polyethylene glycol on root-hair infection and nodulation of *Vicia faba* L. plants by *Rhizobium leguminosarum*. *Planta*, 167(3): 303–309.

Zaldívar, J.; Aguilar, A. T.; Santisteban, A. B. & Álvarez, G. (2017). Evaluación agroproductiva de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la CCS Reytel Jorge del municipio Jesús Menéndez. *Ojeando la Agenda*, 45, 36-53. ISSN: 1989-6794.

Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, (528): 51–59.

8. APENDICE

8.1. Apéndice de Cuadros

Cuadro 1 A. Análisis estadístico para la variable días a floración

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	5.396	1.799	1.671	0.342
Inoculante	1	0.521	0.521	0.484	0.537
Error a	3	3.229	1.076		
Genotipo	2	1118.042	559.021	225.487	0.000
Inoculante x Genotipo	2	0.542	0.271	0.109	0.897
Error b	12	29.75	2.479		
Densidad	1	0.021	0.021	0.07	0.795
Inoculante x Densidad	1	1.021	0.271	3.419	0.081
Genotipo x Densidad	2	0.292	1.021	0.488	0.622
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.792	0.146	1.326	0.29
Error c	18	5.375	0.396		
Total	47	1164.979	0.299		

Cuadro 2 A. Comparación de medias para la variable días a floración para el factor

(A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	43.92 a
S.I	44.13 a

Cuadro 3 A. Comparación de medias para la variable días a floración para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
250,000	44.04 a
125,000	44.00 a

Cuadro 4 A. Análisis estadístico para la variable días a madurez fisiológica.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	0.563	0.188	0.771	0.582
Inoculante	1	0.188	0.188	0.771	0.444
Error a	3	0.729	0.243		
Genotipo	2	3450.875	1725.438	2118.42	0.000
Inoculante x Genotipo	2	0.125	0.063	0.08	0.923
Error b	12	9.333	0.778		
Densidad	1	0.021	0.021	0.031	0.862
Inoculante x Densidad	1	0.021	0.063	0.031	0.862
Genotipo x Densidad	2	0.792	0.021	0.588	0.566
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.542	0.396	0.402	0.675
Error c	18	12.125	0.271		
Total	47	3475.313	0.674		

Cuadro 5 A. Comparación de medias para la variable días a madurez fisiológica para el factor (A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	87.75 a
S.I	87.88 a

Cuadro 6 A. Comparación de medias para la variable días a madurez fisiológica para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
1	87.83 a
2	87.79 a

Cuadro 7 A. Análisis estadístico para la variable diámetro de nódulos.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	1	0.02	0.02	1	0.5
Inoculante	1	18.027	18.027	882.939	0.021
Error a	1	0.02	0.02		
Genotipo	2	1.995	0.998	5.728	0.067
Inoculante x Genotipo	2	0.689	0.344	1.978	0.253
Error b	4	0.697	0.174		
Densidad	1	0.06	0.06	0.165	0.699
Inoculante x Densidad	1	0.002	0.344	0.005	0.948
Genotipo x Densidad	2	0.118	0.002	0.162	0.854
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.058	0.059	0.079	0.925
Error c	6	2.188	0.029		
Total	23	23.873	0.365		

Cuadro 8 A. Comparación de medias para la variable diámetro de nódulos para el factor (B) genotipo.

B	Media
V1	1.94 a
V2	1.51 a
V3	2.21 a

Cuadro 9 A. Comparación de medias para la variable diámetro de nódulos para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
250,000	1.83 a
125,000	1.93 a

Cuadro 10 A. Análisis estadístico para la variable número de nódulos de una planta por tratamiento en 2 bloques.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	1	8.167	8.167	3.062	0.33
Inoculante	1	560.667	560.667	210.25	0.044
Error a	1	2.667	2.667		
Genotipo	2	16.75	8.375	0.101	0.906
Inoculante x Genotipo	2	2054.083	1027.042	12.443	0.019
Error b	4	330.167	82.542		
Densidad	1	228.167	228.167	0.559	0.483
Inoculante Densidad	1	10.667	1027.042	0.026	0.877
Genotipo x Densidad	2	1138.583	10.667	1.394	0.318
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	680.583	569.292	0.833	0.479
Error c	6	2450	340.292		
Total	23	7480.5	408.333		

Cuadro 11 A. Comparación de medias para la variable número de nódulos por planta para el factor (B) genotipos.

B	Media
V1	22.00 a
V2	22.63 a
V3	20.63 a

Cuadro 12 A. Comparación de medias para la variable número de nódulos por planta para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
250,000	24.83 a
125,000	18.67 a

Cuadro 13 A. Análisis estadístico para la variable longitud de guía 5 plantas.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	1248.46	416.153	2.315	0.254
Inoculante	1	111.63	111.63	0.621	0.488
Error a	3	539.337	179.779		
Genotipo	2	17051.055	8525.527	81.061	0.000
Inoculante x Genotipo	2	283.625	141.813	1.348	0.296
Error b	12	1262.093	105.174		
Densidad	1	95.203	95.203	1.722	0.206
Inoculante x Densidad	1	1.613	141.813	0.029	0.866
Genotipo x Densidad	2	14.412	1.613	0.13	0.879
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	30.722	7.206	0.278	0.761
Error c	18	995.33	15.361		
Total	47	21633.48	55.296		

Cuadro 14 A. Comparación de medias para la variable longitud de guía para el factor (A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	92.58 a
S.I	89.53 a

Cuadro 15 A. Comparación de medias para la variable longitud de guía para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
250,000	92.46 a
125,000	89.64 a

Cuadro 16 A. Análisis estadístico para la variable número de vainas por planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	34.567	11.522	5.049	0.108
Inoculante	1	2.032	2.032	0.89	0.415
Error a	3	6.846	2.282		
Genotipo	2	205.34	102.67	8.981	0.004
Inoculante x Genotipo	2	4.663	2.331	0.204	0.818
Error b	12	137.181	11.432		
Densidad	1	116.019	116.019	10.404	0.005
Inoculante x Densidad	1	20.183	2.331	1.81	0.195
Genotipo x Densidad	2	17.058	20.183	0.765	0.48
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.228	8.529	0.01	0.99
Error c	18	200.734	0.114		
Total	47	744.851	11.152		

Cuadro 17 A. Comparación de medias para la variable número de vainas por planta para el factor (A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	15.01 a
S.I	15.42 a

Cuadro 18 A. Análisis estadístico para la variable Longitud de vainas.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	0.631	0.21	1.843	0.314
Inoculante	1	1.892	1.892	16.578	0.027
Error a	3	0.342	0.114		
Genotipo	2	16.747	8.374	30.614	0.000
Inoculante x Genotipo	2	0.542	0.271	0.99	0.400
Error b	12	3.282	0.274		
Densidad	1	0.015	0.015	0.099	0.757
Inoculante x Densidad	1	0.352	0.271	2.303	0.146
Genotipo x Densidad	2	0.005	0.352	0.015	0.985
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.168	0.002	0.55	0.586
Error c	18	2.75	0.084		
Total	47	26.726	0.153		

Cuadro 19 A. Comparación de medias para la variable Longitud de vainas para el factor (C) densidad de población.

C	Media
250,000	10.252 a
125,000	10.288 a

Cuadro 20 A. Análisis estadístico para la variable número de granos por vaina.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	0.066	0.022	0.338	0.801
Inoculante	1	0.002	0.002	0.029	0.876
Error a	3	0.194	0.065		
Genotipo	2	1.074	0.537	5.731	0.018
Inoculante x Genotipo	2	0.009	0.004	0.047	0.955
Error b	12	1.124	0.094		
Densidad	1	0.035	0.035	0.453	0.509
Inoculante x Densidad	1	0.005	0.004	0.067	0.799
Genotipo x Densidad	2	0.055	0.005	0.357	0.705
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.12	0.028	0.775	0.476
Error c	18	1.399	0.06		
Total	47	4.083	0.078		

Cuadro 21 A. Comparación de medias para la variable número de granos por vaina para el factor (A) niveles de inoculante

A	Media
C.I	5.663 a
S.I	5.675 a

Cuadro 22 A. Comparación de medias para la variable número de granos por vaina para el factor (C) densidad poblacional

C	Media
250,000	5.696 a
125,000	5.642 a

Cuadro 23 A. Análisis estadístico para la variable número de granos por planta.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	668.576	222.859	9.402	0.049
Inoculante	1	77.903	77.903	3.287	0.168
Error a	3	71.111	23.704		
Genotipo	2	1403.713	701.856	7.537	0.008
Inoculante x Genotipo	2	14.607	7.303	0.078	0.925
Error b	12	1117.406	93.117		
Densidad	1	1772.078	1772.078	18.235	0.000
Inoculante x Densidad	1	76.634	7.303	0.789	0.386
Genotipo x Densidad	2	119.525	76.634	0.615	0.552
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	28.402	59.763	0.146	0.865
Error c	18	1749.243	14.201		
Total	47	7099.196	97.18		

Cuadro 24 A. Comparación de medias para la variable número de granos por planta para el factor (A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	44.971 a
S.I	47.519 a

Cuadro 25 A. Análisis estadístico para la variable rendimiento de grano por ha en toneladas (ton. ha⁻¹).

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Bloques	3	2.166	0.722	9.933	0.046
Inoculante	1	0.566	0.566	7.78	0.068
Error a	3	0.218	0.073		
Genotipo	2	5.954	2.977	7.702	0.007
Inoculante x Genotipo	2	0.021	0.011	0.028	0.973
Error b	12	4.638	0.387		
Densidad	1	15.813	15.813	53.688	0.000
Inoculante x Densidad	1	0.035	0.011	0.118	0.736
Genotipo x Densidad	2	1.447	0.035	2.457	0.114
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.058	0.027	0.098	0.907
Error c	18	5.301	0.029		
Total	47	36.217	0.295		

Cuadro 26 A. Comparación de medias para la variable rendimiento de grano por ha en toneladas (ton. ha⁻¹) para el factor (A) niveles de inoculante.

A	Media
C.I	2.724 a
S.I	2.941 a

Cuadro 27 A. Análisis estadístico para la variable peso de 100 semillas.

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig.
Bloques	3	18.046	6.015	1.439	0.386
Inoculante	1	51.109	51.109	12.229	0.04
Error a	3	12.538	4.179		
Genotipo	2	108.434	54.217	12.872	0.001
Inoculante x Genotipo	2	25.829	12.915	3.066	0.08
Error b	12	50.543	4.212		
Densidad	1	1.194	1.194	0.2	0.66
Inoculante x Densidad	1	7.34	12.915	1.228	0.282
Genotipo x Densidad	2	5.523	7.34	0.462	0.637
Inoculante x Genotipo x Densidad	2	0.248	2.762	0.021	0.979
Error c	18	107.561	0.124		
Total	47	388.365	5.976		

Cuadro 28 A. Comparación de medias para la variable peso de 100 semillas para el factor (C) densidad poblacional.

C	Media
250,000	37.977 a
125,000	37.662 a