



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Evaluación del rendimiento y susceptibilidad a mancha angular [*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun] de seis genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), 2021

Autores

**Br. Barney Javier Dixon Smith
Br. Maynor Javiel Estrada Sequeira**

Asesores

**Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz
Ing. Luis Enrique Ruíz Obando**

**Managua, Nicaragua
Abril, 2022**





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Evaluación del rendimiento y susceptibilidad a mancha angular [*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun] de seis genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), 2021

Autores

Br. Barney Javier Dixon Smith
Br. Maynor Javiel Estrada Sequeira

Asesores

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz
Ing. Luis Enrique Ruíz Obando

Presentado a la consideración del Honorable Comité Evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero en Sistemas de Protección Agrícola y Forestal

Managua, Nicaragua
Abril, 2022

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero en Sistemas de Protección Agrícola y Forestal

Miembros del Comité Evaluador

Presidente (MSc. Markelyn
Rodríguez Zamora)

Secretario (MSc. Eliézer Lanuza
Rodríguez)

Vocal (MSc. Isaías Sánchez Gómez)

Lugar y Fecha: _____ Managua, Nicaragua, 07 de Abril 2022 _____

DEDICATORIA

Primeramente, a nuestros padres por todo el apoyo incondicional recibido por todos estos años de la universidad que, con sus esfuerzos, responsabilidad y con muchas ganas de formarnos profesionalmente han luchado para ser posible este momento, por tanto, no hay mayores merecedores de este gran logro que no sean ellos.

Dedicamos este logro también a cada miembro de la familia que ha brindado su apoyo tanto económico y anímicamente, por esos amigos y conocidos que nos abrieron las puertas y estar en total disposición de ayudar y nunca perder la esperanza en nosotros esperando tan ansiado momento.

Br. Barney Javier Dixon Smith
Br. Maynor Javiel Estrada Sequeira

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios que nos ha dado salud y sabiduría durante todo este largo camino para hacer posible la realización de este trabajo desde su comienzo hasta la finalización.

Agradecemos especialmente a nuestros asesores al Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz y al Ing. Luis Enrique Ruíz Obando por su esmero, confianza y responsabilidad en todo momento, acompañando en cada una de las etapas del trabajo brindándonos sus conocimientos y experiencias tanto en campo y en los laboratorios de manera que fue posible la culminación de la tesis.

A los ingenieros y docentes del laboratorio de microbiología y de otras áreas de la universidad que nos brindaron su apoyo en cada una de las etapas, así también a nuestros compañeros de clase que nos motivaron a seguir adelante que sin duda fue de mucha ayuda.

Br. Barney Javier Dixon Smith
Br. Maynor Javiel Estrada Sequeira

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.1. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. El cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	4
3.1.1. Clasificación y nomenclatura	4
3.1.2. Origen y domesticación	4
3.1.3. Botánica	6
3.1.4. Importancia económica y nutricional	8
3.1.5. Biofortificación del frijol	9
3.1.6. Principales enfermedades del frijol	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1. Ubicación del estudio	15
4.2. Diseño metodológico	15
4.2.1. Material biológico	15
4.2.2. Diseño experimental	17
4.2.3. Manejo agronómico y fitosanitario	17
4.3. Variables evaluadas	18
4.3.1. Variables de rendimiento	18
4.3.2. Variables epidemiológicas	18
4.4. Recolección de datos	19
4.5. Análisis de datos	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21

5.1. Susceptibilidad a mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>)	21
5.1.1. Incidencia de mancha angular (<i>P. griseola</i>)	21
5.1.2. Severidad de la mancha angular (<i>P. griseola</i>)	23
5.1.3. Área bajo la curva de progreso de la incidencia de mancha angular	24
5.1.4. Área bajo la curva de progreso de la severidad de mancha angular	25
5.2. Rendimiento de los genotipos evaluados	26
VI. CONCLUSIONES	29
VII. RECOMENDACIONES	30
VIII. LITERATURA CITADA	31
IX. ANEXOS	38

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Valores promedio de incidencia de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol	22
2.	Valores promedio del número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV) y peso de 100 granos	27
3.	Rendimiento obtenido en 15 m ² (kg), peso kg ha ⁻¹ y peso tonelada ha ⁻¹ en seis genotipos de frijol	27

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Síntomas de mancha angular sin halo amarillo en las manchas (A) y con halo amarillo rodeando las manchas (B)	21
2.	Curvas de progreso de la incidencia de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L). UNA, 2021	22
3.	Severidad promedio de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L). UNA, 2021	23
4.	Curvas de progreso de la severidad de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L). UNA, 2021	24
5.	Área bajo la curva de progreso de la incidencia de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L)	25
6.	Área bajo la curva de progreso de la severidad de mancha angular (<i>P. griseola</i>) en seis genotipos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L)	26

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Mapa satelital del sitio donde se estableció el experimento con variedades mejoradas de frijol	38
2.	Descripción de las seis variedades mejoradas de frijol utilizadas en la investigación	39
3.	Escala del sistema estándar para evaluación de germoplasma de frijol para enfermedades fungosas y bacterianas	42

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la principal leguminosa para consumo humano y una rica fuente de proteínas, vitaminas, minerales y fibra. En Nicaragua el consumo per cápita de frijol es de 26.1 kg año⁻¹. El rendimiento de frijol es bajo debido a la afectación de factores bióticos y abióticos. Una de las limitaciones bióticas más importante es la mancha angular (*Pseudocercospora griseola*). Por consiguiente, el presente estudio tuvo como objetivo la evaluación de genotipos de frijol por su rendimiento y comportamiento ante la presencia de mancha angular. Se estableció un experimento en diseño de bloques completos al azar (BCA) con seis genotipos de frijol (tratamientos) y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos, rendimiento de grano, incidencia y severidad de mancha angular y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). Los datos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias de Tukey. No hubo diferencias significativas en la incidencia de mancha angular entre genotipos, pero sí en los días después de la siembra (DDS). Se encontraron diferencias significativas en la severidad de mancha angular entre genotipos, entre DDS y en la interacción genotipos por DDS. El genotipo más susceptible fue el IFS con un valor de ABCPE de 124 % días, mientras que el menos susceptible fue el genotipo INR con un valor de 68 % días. El ANDEVA mostró diferencias significativas en el rendimiento entre los genotipos. En el genotipo IRJ se obtuvo el mayor rendimiento (2020 kg ha⁻¹), mientras que en el genotipo INR se registró el menor rendimiento (980 kg ha⁻¹). En conclusión, el genotipo menos sensible a mancha angular fue el INR y el de mayor rendimiento fue el IRJ.

Palabras clave: *Phaeoisariopsis griseola*, severidad, leguminosas, fenología

ABSTRACT

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the main legume for human consumption and a rich source of protein, vitamins, minerals, and fiber. In Nicaragua, the per capita consumption of beans is 26.1 kg year⁻¹. Bean yield is low due to the affectation of biotic and abiotic factors. One of the most important biotic constraints is angular leaf spot (*Pseudocercospora griseola*). Therefore, the objective of this study was to evaluate bean genotypes for their yield and behavior in the presence of angular leaf spot. An experiment in randomized complete block design (RCB) with six bean genotypes (treatments) and four replications was established. The variables evaluated were number of pods per plant, number of grains per pod, weight of 100 grains, grain yield, incidence and severity of angular leaf spot and the area under the disease progress curve (AUDPC). The data were statistically analyzed using an analysis of variance (ANOVA) and Tukey's separation of means. There were no significant differences in the incidence of angular leaf spot between genotypes, but there were in the days after planting (DAP). Significant differences were found in angular leaf spot severity between genotypes, between DAP and in the interaction genotypes x DAP. The most susceptible genotype was the IFS with an AUDPC value of 124% days, while the least susceptible was the INR genotype with a value of 68% days. ANOVA showed significant differences in yield between genotypes. In the IRJ genotype the highest yield was obtained (2 020 kg ha⁻¹), while in the INR genotype the lowest yield was recorded (980 kg ha⁻¹). In conclusion, the least sensitive genotype to angular leaf spot was the INR and the one with the highest yield was the IRJ.

Keywords: *Phaeoisariopsis griseola*, severity, legumes, phenology

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la principal leguminosa de grano para consumo humano directo y representa una rica fuente de proteínas, vitaminas, minerales y fibra, especialmente para las poblaciones más pobres de África y América Latina (Bitocchi, et al., 2012; Broughton *et al.*, 2003). Este cultivo brinda beneficios para la salud relacionados con el consumo regular de sus granos, y contribuye a mejoras sostenibles del medio ambiente cuando se cultiva en rotación o con cultivos intercalados, debido a su fijación biológica de nitrógeno, su efecto sobre el suelo y el control de malezas (Bitocchi *et al.*, 2013; Messina, 2014; Rubiales y Mikic, 2015). Por consiguiente, el frijol tiene un papel clave en la diversificación e intensificación sostenible de la agricultura, particularmente a la luz de los nuevos y urgentes desafíos, como el cambio climático.

En Nicaragua se ha estimado un consumo per cápita de frijol de 26.1 kg por año y es el más alto de Centroamérica. El área destinada a la siembra de frijol en Nicaragua es de aproximadamente 350,000 manzanas por año donde se producen unos cuatro millones de quintales (181,818.18 toneladas métricas—tonelada). La producción de frijol está en un 95% en manos de pequeños y medianos productores, los cuales hacen uso de tecnologías no eficientes lo que se traduce en bajos rendimientos. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA, 2009). Aun con estas limitaciones de carácter tecnológico, Nicaragua es un exportador de frijol al área de los países centroamericanos y México. En el año 2020, Nicaragua exportó 97,311,311.1 kg (97,311.3 tonelada) lo cual generó un flujo de divisas en el orden de los US\$ 115,611,253. Centro de trámite de las exportaciones (CETREX, 2020).

El cultivo de frijol tiene el potencial de contribuir tanto en la reducción de la pobreza como en el aumento de la seguridad alimentaria. A pesar de la importancia nutricional y económica del frijol, el rendimiento obtenido de este cultivo es bajo, lo cual es el resultado de la influencia de factores bióticos y abióticos que lo afectan (Rodríguez De Luque y Creamer, 2014; Singh y Schwartz 2010, 2011). Los factores limitantes de la producción de frijol varían según la región y se conjugan con otros problemas ya existentes, por ejemplo, el uso de tierras marginales por parte de los agricultores. Las limitaciones bióticas más importantes son enfermedades como la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), la mancha angular de la hoja (*Pseudocercospora*

griseola), el virus del mosaico común (Bean Common Mosaic Virus – BCMV), el virus del mosaico dorado del frijol (Bean golden yellow mosaic virus – BGYMV), roya del frijol (*Uromyces phaseoli*) y el tizón común bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv *phaseoli*) (Miklas *et al.*, 2006). Las plagas insectiles más importantes en el cultivo de frijol son la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), crisomélidos (*Cerotoma* spp., *Diabrotica* spp.), gusano peludo (*Estigmene acrea*), lorito verde (*Empoasca* spp.), coralillo (*Elasmopalpus lignosellus*), picudo de la vaina (*Trichapion godmani*), gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), entre otros (IICA, 2010).

Entre las limitaciones abióticas más importantes se encuentran la sequía y la deficiencia de fósforo y nitrógeno debido a la escasa fijación de nitrógeno. La toxicidad por aluminio y manganeso también son problemas frecuentes (Pathania *et al.*, 2014). Se estima que la sequía afecta al 60% de la producción de frijol en los trópicos, especialmente en regiones como América Central. Se ha estimado que el 50% del área de producción de frijol en todo el mundo sufre una limitación de P de moderada a severa (Díaz *et al.*, 2018).

El desarrollo de cultivares con resistencia mejorada a factores bióticos y abióticos es uno de los objetivos principales de los programas de mejoramiento de frijol en todo el mundo. Estos cultivares pueden reducir la dependencia de plaguicidas, evitar el riesgo de pérdida de rendimiento por plagas y permitir una producción de frijol más estable en ambientes diversos y adversos y malas condiciones del suelo (Miklas *et al.*, 2006). En los últimos años se ha estado implementando la estrategia de aumentar el contenido de Fe y Zn en el cultivo de frijol a través de la biofortificación con el objetivo de reducir la prevalencia de anemia por deficiencia de Fe y la deficiencia de Zn (Blair, 2013; Cambraia *et al.*, 2019; Caproni *et al.*, 2020; Sperotto y Ricachenevsky, 2017).

En Nicaragua, el frijol es un alimento básico de mucha relevancia, por lo que el presente estudio se enfocó en la evaluación de genotipos mejorados de frijol por su rendimiento y comportamiento frente a la mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) una de las enfermedades foliares más comunes que se presentan en condiciones de postrera en la zona seleccionada para la investigación. Algunas de estas variedades que se evaluarán presentan un alto contenido de Fe y Zn.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Generar información sobre el rendimiento y susceptibilidad a mancha angular [*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun] de seis genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el área de parcelas agroecológicas de la UNA en el año 2021.

2.1. Objetivos específicos

- Determinar la susceptibilidad de seis genotipos de frijol a la mancha angular causada por *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun en el área de parcelas agroecológicas en el año 2021.
- Determinar el rendimiento de seis genotipos de frijol en presencia del patógeno causante de la mancha angular en el área de parcelas agroecológicas en el año 2021.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más cultivada en el mundo y es el principal alimento básico para las poblaciones de bajos ingresos de muchos países de América y África (Blair, 2013; Cambraia *et al.*, 2019). Dado que tiene un alto contenido de nutrientes y potencial comercial, el frijol común es muy prometedor para combatir el hambre, aumentar los ingresos y mejorar la fertilidad del suelo (Demelash, 2018). El frijol contribuye en el mejoramiento del medio ambiente cuando se cultiva en rotación o con cultivos intercalados, debido a su fijación biológica de nitrógeno, sus efectos en el suelo y el control de malezas (Rubiales y Mikic, 2015).

3.1.1. Clasificación y nomenclatura

El nombre científico del frijol común es *Phaseolus vulgaris* L., es un miembro de la familia de las leguminosas y su jerarquía taxonómica es: Orden Fabales; Familia Fabaceae; Género *Phaseolus* L.; Especie *Phaseolus vulgaris* L. El género *Phaseolus* incluye aproximadamente 80 especies cultivadas y silvestres, pero *P. vulgaris* es la especie más cultivada (Porch *et al.*, 2013). Las especies más estrechamente relacionadas con *P. vulgaris* son *P. albescens*, *P. coccineus*, *P. costaricensis*, *P. dumosus*, *P. parvifolius* y *P. persistentus* (Chacón *et al.*, 2007; Broughton *et al.*, 2003; Delgado-Salinas *et al.*, 2006). Además de *P. vulgaris*, se cultivan otras cuatro especies de *Phaseolus*: *P. dumosus* (frijol anual), *P. coccineus* (frijol escarlata), *P. acutifolius* (frijol tepary) y *P. lunatus* (frijol lima) (Bitocchi *et al.*, 2017).

3.1.2. Origen y domesticación

Entre las aproximadamente 80 especies que pertenecen al género *Phaseolus*, la mayoría están distribuidas geográficamente en Mesoamérica, donde el género parece haberse diversificado en los últimos cuatro a seis millones de años. Es probable que esta diversificación de las diferentes especies haya tenido lugar durante y después de los eventos tectónicos que llevaron a la forma actual de México (Alva-Valdivia *et al.*, 2000; Delgado-Salinas *et al.*, 2006).

En particular, los análisis filogenéticos han demostrado que *Phaseolus* spp., se puede agrupar en dos clados hermanos principales: el clado A, que comprende los grupos Pauciflorus, Pedicellatus y Tuerckheimii, y las especies débilmente descritas (es decir, *P. glabellus*, *P. macrolepis*, *P. microcarpus* y *P. oaxacanus*); y el clado B, que comprende los grupos Filiformis, Vulgaris, Lunatus, Leptostachyus y Polystachios. Así, ocho clados principales que muestran algunas distinciones morfológicas, ecológicas y biogeográficas caracterizan al género *Phaseolus*, y su formación ocurrió relativamente tarde, con una edad promedio de hace 2 millones de años. El grupo más antiguo es Vulgaris, que data de hace cuatro millones de años (Bitochi *et al.*, 2017; Delgado-Salinas *et al.*, 2006).

El género *Phaseolus* ($2n = 2X = 22$) es un ejemplo único de múltiples domesticaciones paralelas e independientes. De hecho, no solo se produjo la domesticación en cinco especies estrechamente relacionadas, *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. dumosus* (antes *P. polyanthus*) y *P. acutifolius*, sino también, a diferencia de otras especies de cultivos, tanto *P. vulgaris* y *P. lunatus* han sufrido dos domesticaciones independientes. Uno fue en Mesoamérica y el otro en los Andes, que ocurrió durante su aislamiento reproductivo que fue causado por las barreras geográficas entre estos acervos genéticos. Por lo tanto, considerando eventos únicos de domesticación independientes para *P. coccineus*, *P. dumosus* y *P. acutifolius*, y dos para *P. vulgaris* y *P. lunatus*, se han producido al menos siete procesos de domesticación independientes y aislados para *Phaseolus* (Bitochi *et al.*, 2012; Bitochi *et al.*, 2017).

Aunque mediante estudios filogenéticos se ha establecido que el origen del género *Phaseolus* se ubica en el Nuevo Mundo (Delgado-Salinas *et al.*, 2006), el origen geográfico de *P. vulgaris* se ha debatido intensamente. La evidencia inicial sugirió a la región peruano-ecuatoriana como el centro de origen, dado que las accesiones recolectadas allí tienen una forma antigua de la proteína de almacenamiento de semillas, la faseolina (Kami *et al.*, 1995; Kwak y Gepts, 2009). Sin embargo, basándose en un análisis de cinco loci, Bitocchi *et al.*, (2012), propusieron que el frijol común se originó en México y luego colonizó el hemisferio sur, dando lugar por separado a las poblaciones peruano-ecuatorianas y el acervo genético andino silvestre, ambos filogenéticamente derivados del clado mesoamericano.

3.1.3. Botánica

Como muchas otras plantas, el frijol es una planta hermafrodita y contiene tanto el estambre como el pistilo en la misma flor, lo cual hace que sea autofértil, es decir, una planta individual puede reproducirse por sí misma, lo que puede limitar la diversidad genética. El género *Phaseolus* presenta cuatro tipos de hábitos de crecimiento (Demelash, 2018; Kwak *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 1993; Pathania *et al.*, 2014):

- i) *Tipo I – determinado arbustivo*, el tallo principal y las ramas laterales terminan en una inflorescencia, la cual detiene el crecimiento del tallo principal o de las ramas. El tallo principal es vigoroso y presenta cinco a diez internudos comúnmente cortos. La altura de las plantas varía normalmente entre 30 y 50 cm, existiendo casos de plantas enanas (15 a 25 cm). La etapa de floración es rápida y la madurez de las vainas ocurre en forma bastante concentrada.
- ii) *Tipo II – indeterminado arbustivo*, las plantas presentan un hábito indeterminado, continuando con su crecimiento en los tallos luego de ocurrida la floración. Las plantas presentan un crecimiento erecto y un bajo número de ramas. El tallo principal normalmente desarrolla una guía de escaso crecimiento.
- iii) *Tipo III – indeterminado postrado*, las plantas presentan un hábito postrado o semipostrado, con un importante sistema de ramificación. El tallo principal y las numerosas ramas existentes pueden presentar aptitud trepadora a partir de las guías que presentan en su parte terminal, especialmente si cuentan con algún tipo de soporte. Las guías, que corresponden a prolongaciones de los tallos que se aíslan de la cobertura del cultivo, comienzan a expresarse luego de iniciada la floración; los internudos de las guías, en tanto, son mucho más largos que los internudos de los tallos. La etapa de floración es más prolongada que en los hábitos Tipo I y Tipo II, y la madurez de sus vainas es bastante menos concentrada.
- iv) *Tipo IV – indeterminado trepador*, el tallo principal, que puede tener de 20 a 30 nudos, alcanza hasta dos o más metros de altura si es guiado, ya sea a través de tutores o de plantas de cultivo que le sirvan como soporte. La floración se prolonga

durante varias semanas, pudiendo presentarse vainas casi secas en la parte basal de la planta, mientras en la parte alta continúa la floración. Las ramas, que son muy poco desarrolladas a consecuencia de la fuerte dominancia apical, se presentan además en baja cantidad.

En el género *Phaseolus*, existe un hábito de crecimiento determinado no solo en el frijol común domesticado (*P. vulgaris*), sino también en el frijol escaflata (*P. coccineus*) y el frijol lima (*P. lunatus*). Para el fitomejoramiento se ha usado el crecimiento determinado ya que se asocia con ramificación reducida, menos entrenudos y más cortos, entrelazamientos reducidos, insensibilidad a la duración del día y, lo que es más importante, una mayor asignación de biomasa al crecimiento reproductivo (Kwak *et al.*, 2012; Singh y Schwartz, 2010). Las circunstancias agronómicas específicas también favorecen el uso de variedades con un hábito de crecimiento determinado ya que se adaptan mejor a temporadas de crecimiento más cortas; maduran antes; producen vainas en un período de tiempo más corto y constante, lo que simplifica la cosecha de frijol verde; y determinadas variedades son más aptas para el cultivo y la cosecha mecanizados (Kwak *et al.*, 2012).

Las hojas son trifolioladas y alternas en los tallos. Los folíolos son enteros y algo vellosos, de 8-15 cm x 5-10 cm, con pequeñas estípulas. La forma de los folíolos difiere entre los cultivares, pero los folíolos generalmente tienen bases anchas y puntas puntiagudas. Las flores nacen en racimos axilares o terminales, en colores blanco, rosa o violeta, según el cultivar. Las flores bisexuales tienen quilla y la quilla termina en una espiral, con una o dos vueltas. Las vainas son estrechas, de 8-20 cm × 1-2 cm, con hasta 12 semillas por vaina, pero la mayoría de las variedades tienen cuatro-seis semillas. Las semillas se producen en una amplia variedad de colores, según el cultivar (OECD, 2016; Singh *et al.*, 1991).

Las semillas de frijol común no son endospermicas y difieren en el tamaño. Las líneas andinas tienen semillas más grandes en las que el peso de 100 semillas es superior a 30 gramos, mientras que las líneas mesoamericanas tienen semillas de menor tamaño, es decir, su peso de 100 semillas es inferior a 30 gramos. El tamaño de la semilla del frijol común puede ser pequeño cuando el peso de 100 semillas medido al azar es inferior a 25 gramos; mediano cuando el peso

de 100 semillas está entre 25 y 40 gramos; y grande cuando el peso de 100 semillas es superior a 40 gramos (González *et al.*, 2009).

Los tallos son típicamente peludos, y la longitud y la densidad de los pelos dependen de la variedad. Sin embargo, los pelos cortos y en forma de gancho (pelos uncinados) siempre están presentes en las porciones más jóvenes de los tallos (Singh *et al.*, 1991; Freytag y Debouck, 2002). Los pelos tienen un papel en la resistencia tanto a las enfermedades como a los insectos. Existe evidencia de que los pelos interrumpen la producción de esporas de hongos, reduciendo así el inóculo secundario (por ejemplo, en la roya del frijol, *Uromyces appendiculatus*) y pueden herir físicamente a los insectos (como los saltahojas, *Empoasca fabae*), lo que reduce la depredación. El frijol tiene un sistema de raíces basado en la raíz principal con raíces laterales ubicadas típicamente dentro de los 15 cm superiores del suelo (Mmbaga y Steadman, 1992).

3.1.4. Importancia económica y nutricional

Las leguminosas como el frijol común tienen la capacidad de establecer asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*) y con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para facilitar la adquisición de nutrientes como nitrógeno y fósforo (Vance, 2001; Venkateshwaran *et al.*, 2013). Estas relaciones simbióticas son económicamente importantes porque reducen drásticamente el uso de fertilizantes sintéticos y la liberación de su subproducto N₂O, un importante gas de efecto invernadero. Se ha estimado que las leguminosas fijan 60 millones de toneladas métricas de nitrógeno en todo el mundo y, reemplazar este nitrógeno biofijado por fertilizantes sintéticos costaría alrededor de US\$ 40 mil millones (10⁹). Por lo tanto, comprender y mejorar estas asociaciones simbióticas podría tener grandes beneficios económicos, ambientales y nutricionales (Castro-Guerrero *et al.*, 2016; Smil, 1999).

El frijol es una fuente importante de nutrientes para más de 300 millones de personas, lo que representa el 65% del total de proteínas consumidas, el 32% de la energía y una fuente importante de micronutrientes, por ejemplo, hierro, zinc, tiamina y ácido fólico (Broughton *et al.*, 2003; Petry *et al.*, 2015). Es un alimento altamente nutritivo debido a su equilibrio de carbohidratos y proteínas (entre 4:1 y 3:1). Se la conoce como la "carne de los pobres", debido a su alto contenido en proteínas, minerales y vitaminas (Blair, 2013).

En las leguminosas, como el frijol, en su mayor parte, la semilla se consume entera después de un proceso de cocción, y no requiere de ningún proceso de molienda o trituración. Además, la cubierta de la semilla constituye del siete por ciento al diez por ciento o más del peso total de la semilla y es una fuente de preferencia del consumidor, el cotiledón representa el 85% o más del peso total de la semilla y el embrión es solo el dos por ciento o tres por ciento de peso de semilla, pero es denso en nutrientes (Ariza-Nieto *et al.*, 2007).

Se ha encontrado que la calidad nutricional del frijol es más alta que la de los cereales, con grandes cantidades de minerales y vitaminas acumuladas en las semillas (Broughton *et al.*, 2003). Se estima que el frijol común tiene de cuatro a diez veces la cantidad de Fe y de dos a tres veces la cantidad de Zn en comparación con el arroz (Pfeiffer y McClafferty, 2007). Además, estos minerales y vitaminas generalmente se retienen después de la cosecha y el procesamiento, mientras que en los granos de cereales pulidos se pierden los tejidos ricos en Fe (embrión y capa de aleurona) (Wang *et al.*, 2003).

La producción mundial total de frijol no se puede calcular con certeza debido a la confusión con otras leguminosas en algunos de los datos, pero está entre 11 y 12 millones de toneladas. América Latina es la región de mayor producción de frijol, representando alrededor del 50% del volumen mundial, seguida de África con el 25%. Brasil, México y los Estados Unidos de América son los tres mayores productores del hemisferio occidental (Beebe *et al.*, 2013). En los países latinoamericanos, el consumo nacional per cápita de frijol está entre 12 y 18 kg por año, pero esto no refleja diferencias en el consumo urbano versus rural, ni diferencias de ingresos (Broughton *et al.*, 2003). En las zonas rurales de Nicaragua, por ejemplo, el consumo per cápita puede llegar a 36 kg por año entre los más ricos, mientras que los pobres de las zonas rurales no pueden satisfacer sus necesidades y consumen aproximadamente la mitad de esa cantidad (Beebe *et al.*, 2013).

3.1.5. Biofortificación del frijol

Se ha debatido cómo llegar a la base de la pirámide de los estratos económicos de las sociedades (personas que ganan menos de dos dólares al día) con alimentos que contienen suficientes micronutrientes, pero una forma es a través de la biofortificación de cultivos básicos que son

consumidos en grandes cantidades por los pobres como arroz, trigo y frijol (cultivos de semillas) o papa y yuca (cultivos de raíces y tubérculos) (Blair *et al.*, 2013). Para superar las deficiencias minerales, se pueden considerar varias estrategias: la diversificación de alimentos, la suplementación mineral, la fortificación de alimentos y la biofortificación (Bouis *et al.*, 2011; White y Broadley, 2009). La biofortificación es el proceso mediante el cual se mejora el contenido de nutrientes en un cultivo mediante técnicas modernas de biotecnología, fitomejoramiento tradicional y prácticas agronómicas y se considera una estrategia sostenible y rentable para abordar la desnutrición en los países en desarrollo porque se enfoca en los alimentos básicos que se consumen a diario (Blair, 2013; Dwivedi *et al.*, 2012; Garg *et al.*, 2018; Yeken *et al.*, 2018).

Las deficiencias de minerales son uno de los mayores problemas de salud dado que la mitad de la población mundial se ve afectada por algún tipo de deficiencia de minerales. La anemia por deficiencia de hierro es especialmente prevalente, afecta a más de tres mil millones de seres humanos, y se cree que la deficiencia de zinc también afecta a un número similar de personas. La anemia por deficiencia de hierro (AIF) afecta a más del 50% de las mujeres y los niños en edad preescolar en los países en desarrollo, es responsable del 20% de las muertes de mujeres durante el parto y afecta el desarrollo físico y mental en la niñez y la adolescencia (Dwivedi *et al.*, 2012; Pfeiffer y McClafferty, 2007).

La deficiencia de zinc probablemente esté tan extendida a nivel mundial como la AIF, pero no está tan bien documentada debido a que se realizan menos pruebas para este nutriente (Dwivedi *et al.*, 2012). La deficiencia de Zn es posiblemente la principal causa de retraso del crecimiento en niños y bebés, afecta la inmunidad, el uso de vitamina A y la función de la vitamina D, y conduce a una disminución de la salud, mayor mortalidad y mayor prevalencia de algunas enfermedades parasitarias (Bouis, 2003). Por tanto, es imperativo trabajar sobre las concentraciones y biodisponibilidad de hierro y zinc en cultivos especialmente de leguminosas donde sus concentraciones son superiores a las de los cereales (Bouis y Welch, 2010).

En el frijol común, la concentración de hierro varía de 35 a 90 $\mu\text{g g}^{-1}$ y es mayor en comparación con otros cultivos importantes como el arroz (6.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ a 24.4 $\mu\text{g g}^{-1}$), el trigo (25 $\mu\text{g g}^{-1}$ a 56

$\mu\text{g g}^{-1}$) y maíz ($9.6 \mu\text{g g}^{-1}$ a $63.2 \mu\text{g g}^{-1}$). Las semillas de frijol también tienen un contenido relativamente alto de zinc (21 a $54 \mu\text{g g}^{-1}$). Sin embargo, las semillas de frijol también se caracterizan por un alto contenido de fitato (un por ciento-tres por ciento del peso total de la semilla) que reduce significativamente la biodisponibilidad mineral (Caproni *et al.*, 2020).

3.1.6. Principales enfermedades del frijol

En el cultivo de frijol se reportan más de 200 enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos fitopatógenos, los cuales ocasionan drásticas reducciones en el rendimiento. Algunas de las enfermedades más importantes del frijol en los trópicos incluyen la mancha angular [*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun], la antracnosis [*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus) Briosi & Cavara], el tizón bacteriano común (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith), el virus del mosaico dorado (BGMV) y el virus del mosaico común (BCMV) (Beebe y Corrales 1991; Duc *et al.*, 2015; Miklas *et al.*, 2017).

a) Mancha angular (*Pseudocercospora griseola*)

La mancha angular de la hoja, una enfermedad causada por *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun [anteriormente conocida como *Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferrari], fue hasta la década de 1980 considerada de menor importancia en América Latina. Sin embargo, a mediados de la década de 1980, la mancha angular comenzó a considerarse un factor biótico limitante significativo para la producción de frijol en Brasil, América Central y África oriental y meridional (Aggarwal *et al.*, 2004; Pastor Corrales *et al.*, 1998).

Las pérdidas de rendimiento causadas por la mancha angular pueden alcanzar hasta el 80% (de Jesús Junior *et al.*, 2001). Aunque los fungicidas son una opción para el control de la enfermedad, son costosos o no están disponibles para los pequeños agricultores, que son los productores predominantes del cultivo frijol en los trópicos. Los cultivares con resistencia a *P. griseola* ofrecen una estrategia de manejo rentable, fácil de usar y respetuosa con el medio ambiente (Nay *et al.*, 2019; Pastor-Corrales *et al.*, 1998).

Aunque *P. griseola* puede transmitirse a través de semillas, la fuente más frecuente de inóculo primario para iniciar la enfermedad en condiciones naturales es la presencia de restos vegetales

infectados con el patógeno. El hongo *Pseudocercospora griseola* se considera un patógeno fastidioso (Correa-Victoria *et al.*, 1989), pero crece y produce esporas en medios de cultivo artificiales (Nay *et al.*, 2019). La respuesta del germoplasma de frijol común a *P. griseola* generalmente se evalúa utilizando una escala de severidad de la enfermedad que va de uno a nueve, donde las puntuaciones de uno a tres se consideran resistentes, de cuatro a seis intermedias y de seis a nueve susceptibles (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987).

b) Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*)

La antracnosis del frijol es una enfermedad fúngica destructiva que restringe la producción de frijol en todo el mundo (Kelly y Vallejo, 2004). El patógeno puede infectar todas las partes aéreas de las plantas de frijol y causa lesiones típicamente de color marrón rojizo en las vainas, que contienen una masa de esporas rosadas y están rodeadas por bordes anulares de color marrón rojizo a negro (Palacioglu *et al.*, 2020).

El patógeno sobrevive en semillas infectadas y restos de cosecha y causa graves pérdidas de rendimiento de hasta el 100%, especialmente donde los cultivares susceptibles son sembrados en condiciones de baja temperatura y alta humedad (Padder *et al.*, 2017). Las semillas contaminadas con el patógeno juegan un papel importante en la distribución de la enfermedad a larga distancia. Se sugiere el uso de semillas libres del patógeno, rotación de cultivos, tratamientos con fungicidas y resistencia de huésped para controlar la antracnosis del frijol en las estrategias de manejo de enfermedades (Mohammed, 2013).

Por lo tanto, la resistencia de la planta hospedante es el método más confiable, económico y eficaz para manejar la antracnosis en el frijol porque los productos químicos tienen impactos negativos en el ser humano o el medio ambiente, y la producción de semillas libres de enfermedades es difícil en los países en desarrollo (Meziadi *et al.*, 2016). Se han reportado algunas variedades de frijol resistentes a la antracnosis, pero la alta variabilidad patógena dentro de las poblaciones del hongo es el principal obstáculo en la mejora de la resistencia a la enfermedad (Ishikawa *et al.*, 2008). Hasta la fecha, se han caracterizado más de 247 razas del patógeno en todo el mundo (Martiniano-Souza *et al.*, 2017).

c) **Virus del mosaico dorado del frijol (*Bean Golden Mosaic Virus*)**

El mosaico dorado es el principal virus que afecta al cultivo del frijol común. Esta enfermedad, causada por el virus del mosaico dorado del frijol (BGMV), es considerada la más dañina para el cultivo del frijol en las regiones tropicales y subtropicales de las Américas provocando pérdidas del 40% al 100% en los rendimientos. Los síntomas más prevalentes causados por BGMV son mosaico amarillo intenso a lo largo de la lámina de la hoja, enanismo, acortamiento de entrenudos, pérdida de dominancia apical y superbrotación de yemas axilares (de Freitas Vanzo *et al.*, 2021a).

La enfermedad del mosaico dorado del frijol se observó por primera vez en Nicaragua a principios de la década de 1970, pero no fue hasta 1990 que la enfermedad adquirió importancia económica. La incidencia de los síntomas del mosaico dorado en el frijol ha aumentado, probablemente debido a la expansión de los cultivos hortícolas en las áreas tradicionales de cultivo de frijol (Karkashian *et al.*, 2011; Morales y Anderson, 2001). La enfermedad afecta el rendimiento, la calidad del grano y aumenta los costos de producción debido a la aplicación frecuente de costosas insecticidas para controlar su insecto vector, la mosca blanca [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] (Coutinho *et al.*, 2016; de Freitas-Vanzo *et al.*, 2021b).

El BGMV no se transmite por semillas, ni mecánicamente, la única forma de dispersión en la naturaleza es a través del insecto vector, la mosca blanca. La forma de transmisión es persistente circulativa y no propagativa. En este caso, el virus es adquirido por el vector durante un largo período de alimentación en el floema, circula en el cuerpo del insecto, llega a las glándulas salivales y posteriormente se inyecta en la planta sana en el momento de la alimentación (de Freitas-Vanzo *et al.*, 2021a).

No existen medidas completamente efectivas para el manejo del mosaico dorado. Se recomienda la eliminación de malezas que podrían servir como hospederos del insecto vector y como reservorios del virus; sembrar cuando la presión de la enfermedad es baja; usar cultivares de frijol con resistencia o tolerancia a BGMV, lo cual representa el mejor enfoque para controlar la enfermedad. Si bien se han desarrollado líneas de frijol altamente resistentes, la transferencia

de este rasgo a nuevos cultivares es difícil debido a la variación y recombinación del virus (de Freitas-Vanzo *et al.*, 2021b; Faria y Maxwell 1999; Rocha *et al.*, 2013).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en los predios de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en las proximidades del Laboratorio de Cultivos de tejidos de la Facultad de Agronomía y que se ubica en las coordenadas 12°08'57.0" latitud norte y 86°09'34.6" longitud oeste (Anexo 1). El sitio se caracteriza por presentar suelo franco-arenoso, con pendiente de 0% a 2%, pH que oscila entre 7.5 a 8.5, una altitud de 56 msnm, temperatura que varía de 27°C a 34°C, humedad relativa de 75% y precipitaciones que están en el rango de 1,100 y 1,600 mm (Duarte-Canales y Benavides-González, 2020).

4.2. Diseño metodológico

La investigación se enmarcó en el enfoque cuantitativo, ya que se estableció un ensayo de campo para estimar el rendimiento de seis genotipos de frijol y su susceptibilidad al patógeno causante de la mancha angular (*P. griseola*) durante el período de evaluación. Se aplicó la investigación transversal descriptiva para la recolección de datos y descripción de las variables y la investigación transversal correlacional para establecer la relación entre las variables de rendimiento y las variables epidemiológicas a evaluar.

4.2.1. Material biológico

Se utilizaron seis genotipos de frijol, cuyas semillas para siembra fueron donadas por el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). A continuación, se describen algunas de las características más relevantes de cada variedad y en el Anexo 2 se describe con más detalle las particularidades de cada variedad. La información acerca de las características de las variedades fue obtenida del sitio web del INTA (<https://inta.gob.ni/>).

a) INTA Biosequía (RCB-593)

Es una variedad con tolerancia a sequía y al virus del mosaico dorado, susceptible a altas temperaturas, enfermedades fungosas y bacterianas más importantes; y es resistente al virus del mosaico común ya que porta el gen *bc3*; su contenido de Fe es de 51 ppm y el de Zn es 29 ppm. Su rendimiento varía de 1.62 t ha⁻¹ a 1.94 t ha⁻¹.

b) SMR-174

De este genotipo todavía no se tienen datos de sus principales características agronómicas, resistencia a factores limitantes bióticos y abióticos y de su contenido de Fe y Zn. En esta investigación se generarán algunos relacionados con los primeros aspectos mencionados.

c) INTA Fuerte Sequía (IFS)

Es una variedad tolerante a altas temperaturas y a sequía; a los virus del mosaico dorado y mosaico común del frijol; es susceptible a la bacteriosis común y presenta una resistencia intermedia al hongo que causa la mancha angular. El rendimiento de esta variedad oscila entre 1.94 t ha⁻¹ y 2.07 t ha⁻¹.

d) INTA Rojo Jinotega (IRJ)

Esta variedad es tolerante a las enfermedades mustia hilachosa [*Thanatephorus cucumeris* Frank (Donk) (anamorfo = *Rhizoctonia solani* Kuhn), mosaico dorado, bacteriosis común y mancha angular, a sequía y a temperatura por escape; es resistente al virus del mosaico común. Su rendimiento varía de 1.68 t ha⁻¹ a 2.13 t ha⁻¹.

e) INTA Productivo Sequía (BFS-81)

La variedad es susceptible a altas temperaturas, a enfermedades infecciosas como la mustia hilachosa, mancha angular y la bacteriosis común; es tolerante al virus del mosaico dorado y a sequía; es resistente al virus que causa el mosaico común, ya que porta el gen *bc3*. Su potencial de rendimiento es de 1.94 t ha⁻¹ a 2.13 t ha⁻¹.

f) INTA Nutritivo y Rendidor (INR o SMR-88)

Esta variedad es resistente a los virus que causan el mosaico dorado y el mosaico común; es susceptible al hongo que causa la mancha angular; es tolerante a la bacteriosis común y al exceso de humedad; su contenido de Fe oscila entre 71 y 78 ppm, mientras que su contenido de Zn varía de 29 a 31 ppm. El rendimiento potencial de la variedad es de 2.19 t ha⁻¹ a 2.33 t ha⁻¹.

4.2.2. Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar (BCA) con seis tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 24 parcelas experimentales. Los tratamientos fueron los seis genotipos de frijol. La siembra se hizo directa al espeque colocando dos-tres semillas por golpe. La distancia entre golpe fue de 20 cm (aproximadamente ocho pulgadas) y entre surco fue de 50 cm. Cada variedad dentro de un bloque o repetición se ubicó en una parcela experimental de cuatro surcos, en cada surco se establecieron 30 golpes y con una longitud de seis metros. Por lo tanto, el área de cada parcela experimental fue de 12 m². Después de la emergencia se realizó un raleo para dejar la planta más vigorosa, por lo que cada parcela experimental tenía 120 plantas (30 plantas en el surco × 4 surcos). Entre cada parcela experimental había una distancia de un metro. Cada bloque tenía un ancho de 17 metros y una longitud de seis metros, para un área total por bloque de 102 m² (17 m × 6 m). En cada bloque se estableció un total de 720 plantas (120 plantas de cada variedad × 6 variedades). La distancia entre bloques fue de 1.5 metros. El área efectiva de todo el experimento fue de 408 m² (102 m² × 4). El experimento tenía un total de 2 880 plantas de seis variedades (720 plantas en un bloque × 4 bloques). El área útil de la parcela estuvo constituida por 20 plantas (diez plantas de cada uno de los surcos centrales – 2 m × 1 = 2 m²), en las cuales se evaluaron las variables de rendimiento. De estas 20 plantas se seleccionaron diez plantas (cinco plantas de cada surco central) para la estimación de las variables epidemiológicas (1 m²).

4.2.3. Manejo agronómico y fitosanitario

La preparación del suelo consistió en una chapoda de la maleza, la cual se retiró del área de siembra. No se hizo ningún tipo de labor mecanizada. Se delimitaron las áreas de los bloques y de las parcelas experimentales con la ayuda de estacas. Al momento de la siembra se aplicó el fertilizante edáfico 18-46-0 (NPK). El manejo de malezas se realizó manualmente cuando se requería. Las plagas insectiles fueron manejadas con el producto botánico Biocan 75 EC (extracto de canela – *Cinnamomum zeylanicum*) a razón de 5 ml L⁻¹ de agua, cuando la presión de plagas era baja. Al contrario, cuando la presión de plagas insectiles fue muy alta, entonces se utilizó el producto sintético Engeo 24.7 SC (tiametoxam + lambda cihalotrina) a razón de 5 ml por bomba de 20 litros. Para el manejo de enfermedades, cuando fue necesario, se utilizó el

fungicida Amistar Xtra 28 SC (azoxistrobina + ciproconazole) en dosis de 10 ml por bomba de 20 litros.

4.3. Variables evaluadas

En este estudio las variables evaluadas fueron las que estaban asociadas al rendimiento del cultivo y las que estaban relacionadas a la reacción del cultivo a la mancha angular que se presentó durante la investigación, es decir, variables epidemiológicas.

4.3.1. Variables de rendimiento

Se seleccionaron 20 plantas de la parcela útil (los dos surcos centrales de cada parcela experimental para evaluar el número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos y rendimiento de grano. El rendimiento se estimó en base a un contenido de humedad interna del grano de 13% y se extrapolo a kg ha^{-1} mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso del grano en área útil} \times 10\,000 \text{ m}^2 \text{ (ha)}}{\text{Área de la parcela útil (2 m}^2\text{)}}$$

4.3.2. Variables epidemiológicas

Las variables epidemiológicas evaluadas fueron la incidencia y severidad de la enfermedad mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) que se presentó durante el ciclo de las seis variedades de frijol que se incluyeron en el estudio.

a) Incidencia de enfermedades foliares

El registro de incidencia de la enfermedad inició cuando se observó que en el 50% de las plantas de las seis variedades ya habían aparecido las hojas primarias (Etapa V2). Las evaluaciones se realizaron semanalmente en las 120 plantas que ocupó cada una unidad experimental (cada variedad) en cada uno de los cuatro bloques. Por lo tanto, la incidencia se evaluó en las 2 880 plantas que tenía el ensayo (120 plantas en una parcela \times 6 parcelas en un bloque \times 4 bloques). Para la estimación de la incidencia se utilizó la siguiente fórmula propuesta por James (1974):

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Número de plantas afectadas}}{\text{Número total de plantas evaluadas}} \times 100$$

b) Severidad de enfermedades foliares

La severidad de la enfermedad se evaluó en diez plantas fijas que estaban ubicadas en la parcela útil en los dos surcos centrales de las parcelas experimentales. Se tomaron cinco plantas de cada uno de los dos surcos centrales. Las evaluaciones iniciaron cuando se observó que en el 50% de las plantas de las seis variedades ya habían aparecido las hojas primarias (Etapa V2). Para la estimación de la severidad de las enfermedades foliares fungosas y bacterianas se utilizó la escala de uno al nueve (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987; Anexo 3), en donde los rangos del uno al tres indican que la variedad es resistente, del cuatro al seis la resistencia es intermedia y del siete al nueve la variedad es susceptible.

c) Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE)

Con los valores de incidencia y severidad se calcularon el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de acuerdo a la fórmula de Shaner y Finney (1977):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde, $ABCPE$ = área bajo la curva de progreso de la enfermedad; y = porcentaje de follaje afectado en cada lectura; t = tiempo de cada lectura; n = número de lecturas.

4.4. Recolección de datos

Los datos de las variables a evaluar se recolectaron semanalmente en hojas de campo debidamente diseñadas para tal fin y luego la información se registró en hojas de Excel para después ser ordenadas para su análisis estadístico. Los datos de incidencia de las enfermedades se tomaron en todas las plantas del experimento para cada una de las variedades. Los datos de severidad se registraron en diez plantas de la parcela útil y los datos de rendimiento se tomaron en 20 plantas de la parcela útil y posteriormente se extrapólo el rendimiento a kg ha^{-1} .

4.5. Análisis de datos

Se comprobó estadísticamente el ajuste de las variables a los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas del modelo, mediante la prueba de normalidad, con el estadístico Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente, para aplicar estadística paramétrica. Los efectos principales fijos fueron las variedades, mientras que los bloques o repeticiones se trataron como el efecto aleatorio. También se probó las interacciones de estos factores. Los efectos de los tratamientos significativos se determinaron mediante la Diferencia Honestamente Significativa (DHS) de Tukey al 5%. Se utilizaron los programas estadísticos Infostat y SAS versión 9.1.3. El modelo aditivo lineal utilizado fue el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \text{ para } i = 1, \dots, k \text{ y } J = 1, \dots, r$$

Dónde, X_{ij} = variable aleatoria observable; μ = media general; β_j = efecto del j-ésimo bloque; τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento; ε_{ij} = efecto del error experimental; r = número de repeticiones; k = número de tratamientos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Susceptibilidad a mancha angular (*Pseudocercospora griseola*)

Los síntomas observados en el campo consistieron en manchas angulares en las hojas. Inicialmente, aparecieron algunos puntos grises en el envés de las hojas. En algunas ocasiones, también se observó la presencia de un halo amarillo rodeando las manchas angulares necróticas. Las manchas pueden coalescer y luego puede ocurrir la defoliación (Landeras *et al.*, 2017; Figura 1). La reacción a mancha angular de los genotipos de frijol se estimó en base a la incidencia y severidad calculadas en porcentaje de acuerdo con la escala utilizada.



Figura 1. Síntomas de mancha angular sin halo amarillo en las manchas (A) y con halo amarillo rodeando las manchas (B).

5.1.1. Incidencia de mancha angular

El análisis de varianza (ANDEVA) de la incidencia indicó que no hubo diferencias significativas entre genotipos ($p = 0.7058$; $\alpha = 0.05$), pero si se encontraron diferencias significativas en los días después de la siembra – DDS ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) y en la interacción genotipos \times DDS ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). La incidencia más baja de mancha angular se observó en el genotipo Inta Nutritivo Rendidor (INR) con un 16%, mientras que la incidencia más alta se registró en el genotipo Inta Rojo Jinotega (IRJ) con un 19%. En los otros cuatro genotipos los valores promedios de incidencia fueron intermedios (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedio de incidencia de mancha angular (*P. griseola*) en seis genotipos de frijol.

Genotipos	Incidencia	Parámetros
INR	16 a	N = 144
RCB-593	17 a	
SMR-174	17 a	
IFS	18 a	R ² = 0.94
BFS-81	18 a	C.V. = 17%
IRJ	19 a	

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; C.V. = coeficiente de variación

En la interacción variedades × DDS, se observó que el genotipo de frijol que obtuvo mayor incidencia fue el Inta Rojo Jinotega (IRJ) con un 63% y el genotipo que presentó menor incidencia a través del tiempo fue Inta Nutritivo Rendidor (INR) con un 14%. Es importante mencionar que a los 39 DDS, el genotipo INR era el que tenía la mayor incidencia de mancha angular con un 30%, mientras que el IRJ tenía la menor incidencia con un 9%. Esto hizo necesario la aplicación del fungicida Amistar Xtra 28 SC[®] (azoxistrobina + ciproconazole), el cual mostró eficacia para el manejo de la enfermedad ya que disminuyó la incidencia en todos los genotipos hasta los 60 DDS. A partir de esta última fecha, la incidencia se incrementó exponencialmente en cinco de los genotipos, con excepción del INR (Figura 2).

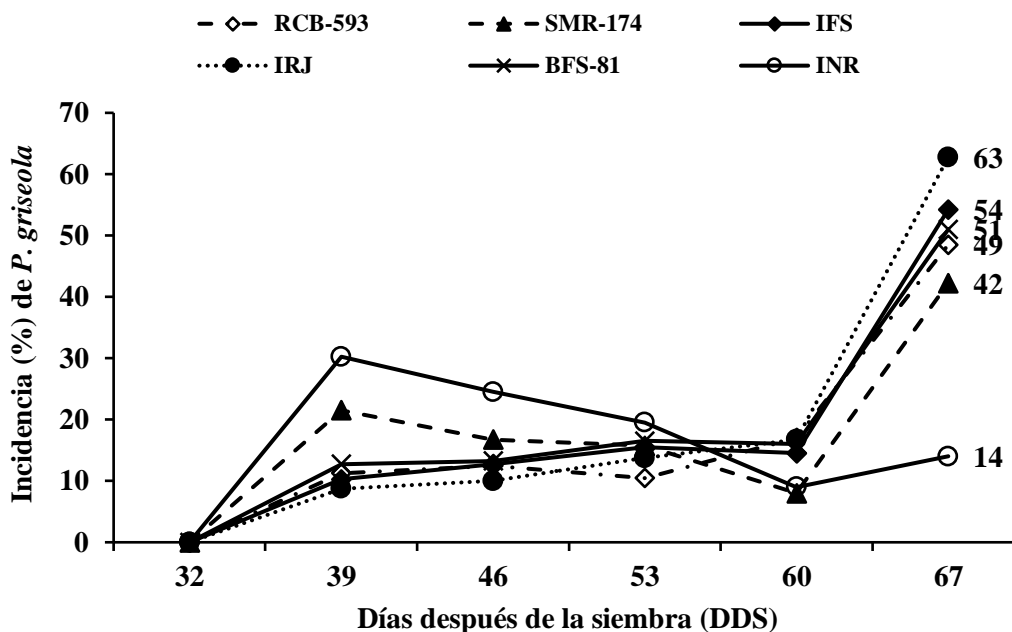


Figura 2. Curvas de progreso de la incidencia de mancha angular (*P. griseola*) en seis genotipos de frijol. UNA, 2021.

5.1.2. Severidad de la mancha angular (*P. griseola*)

El ANDEVA detectó diferencias significativas en la severidad de mancha angular entre genotipos ($p = 0.0002$; $\alpha = 0.05$), entre DDS ($p < 0.0001$; 0.05) y en la interacción genotipos \times DDS ($p = 0.0004$; $\alpha = 0.05$). En el genotipo INR se observó el valor promedio más bajo de severidad con 1.8% y se diferenció estadísticamente significativas de los otros cinco genotipos. El genotipo con mayor valor promedio de severidad con 3.1% fue el IFS (Figura 3).

Las curvas de progreso de la enfermedad revelaron que el genotipo con el mayor valor promedio de severidad a los 66 DDS fue el IRJ con un 2.5% y el de menor valor promedio fue el genotipo BFS-81 con 1.7% de severidad. Se presentaron dos picos máximos de severidad, el primero a los 38 DDS y el segundo a los 59 DDS en todos los genotipos sin excepción. El genotipo INR mantuvo valores bajos de severidad durante todo el ciclo del cultivo en comparación con otros cinco genotipos evaluados (Figura 4).

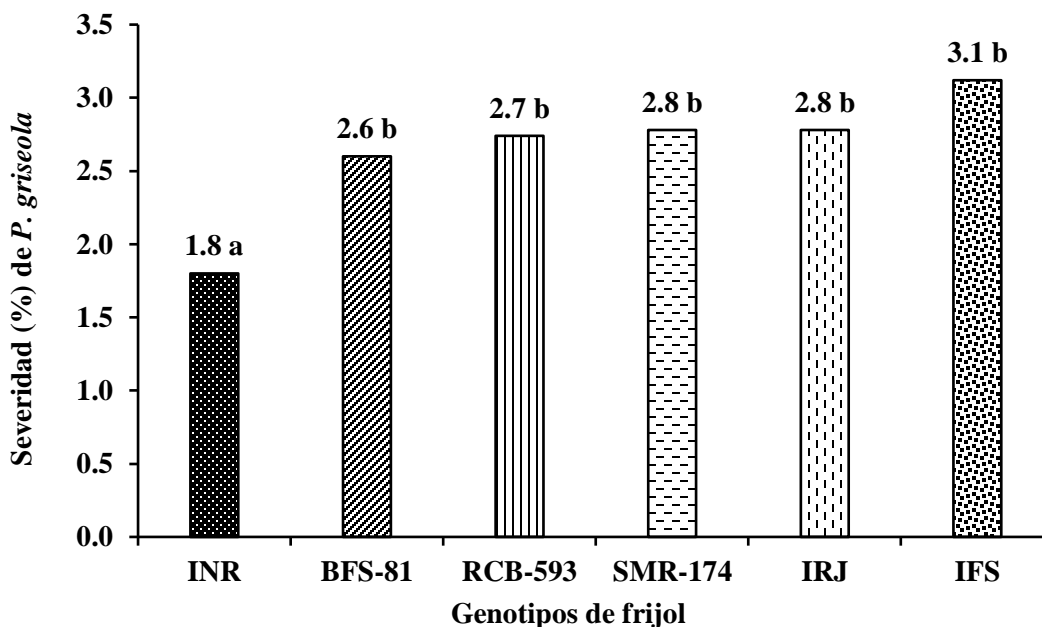


Figura 3. Severidad promedio de mancha angular (*P. griseola*) en seis genotipos de frijol. UNA, 2021.

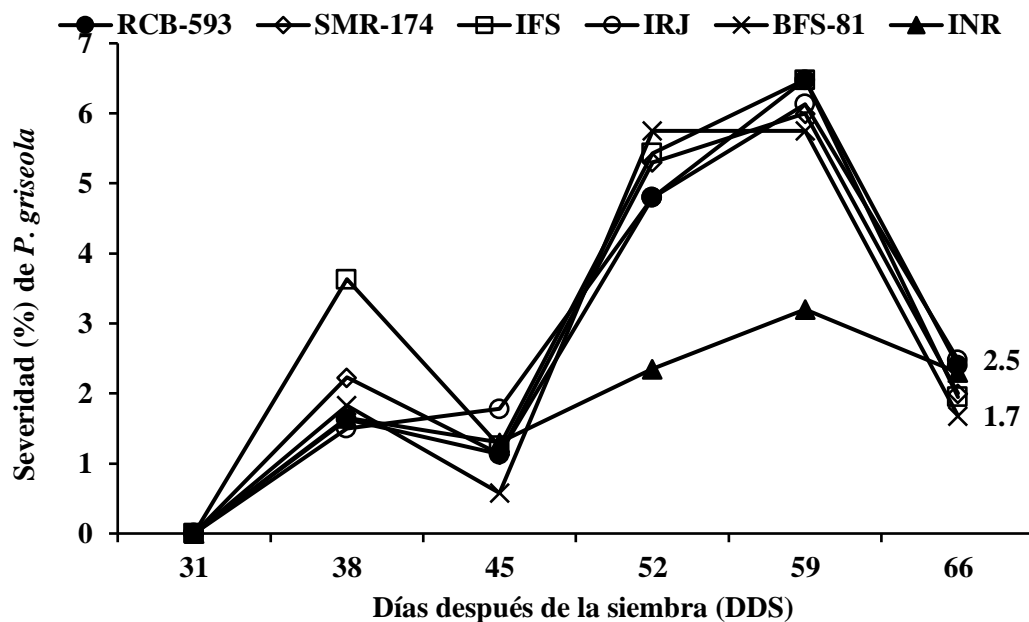


Figura 4. Curvas de progreso de la severidad de mancha angular (*P. griseola*) en seis genotipos de frijol. UNA, 2021.

5.1.3. Área bajo la curva de progreso de la incidencia de mancha angular

El ANDEVA detectó diferencias significativas ($p = 0.0198$; $\alpha = 0.05$) entre genotipos para la incidencia de mancha angular. El genotipo más susceptible fue el INR ya que obtuvo un valor promedio de ABCPE de 632 %-días, mientras que el menos susceptible fue el genotipo RCB-593 con un valor de 529 %-días. Estos dos genotipos se diferenciaron estadísticamente según la prueba de Tukey. En los otros cuatro genotipos no se observaron diferencias significativas entre ellos y fueron estadísticamente iguales a los genotipos INR y RCB-593 (Figura 5).

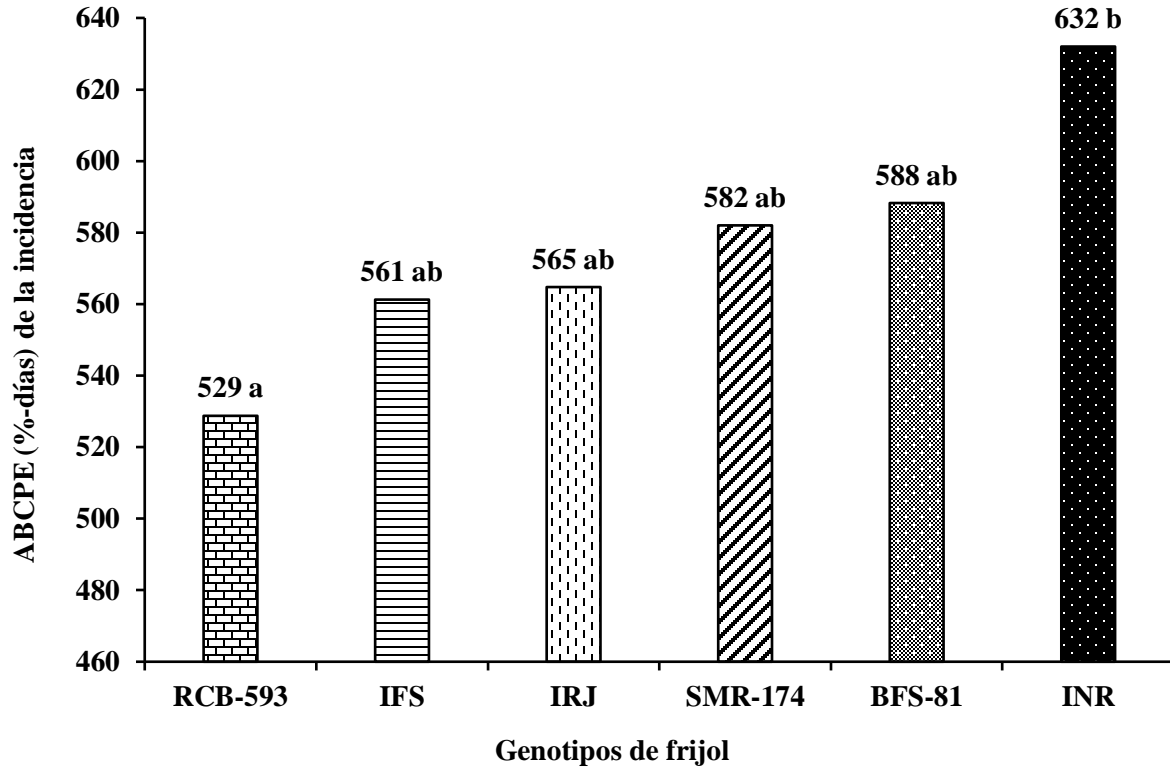


Figura 5. Área bajo la curva de progreso de la incidencia de mancha angular en seis genotipos de frijol.

5.1.4. Área bajo la curva de progreso de la severidad de mancha angular

El ANDEVA detectó diferencias significativas ($p = 0.0205$; $\alpha = 0.05$) entre genotipos para la severidad de mancha angular. El genotipo más susceptible fue el IFS ya que obtuvo un valor promedio de ABCPE de 124 %-días, mientras que el menos susceptible fue el genotipo INR con un valor de 68 %-días. Estos dos genotipos se diferenciaron estadísticamente según la prueba de Tukey. En los otros cuatro genotipos no se observaron diferencias significativas entre ellos y fueron estadísticamente iguales a los genotipos INR e IFS (Figura 6).

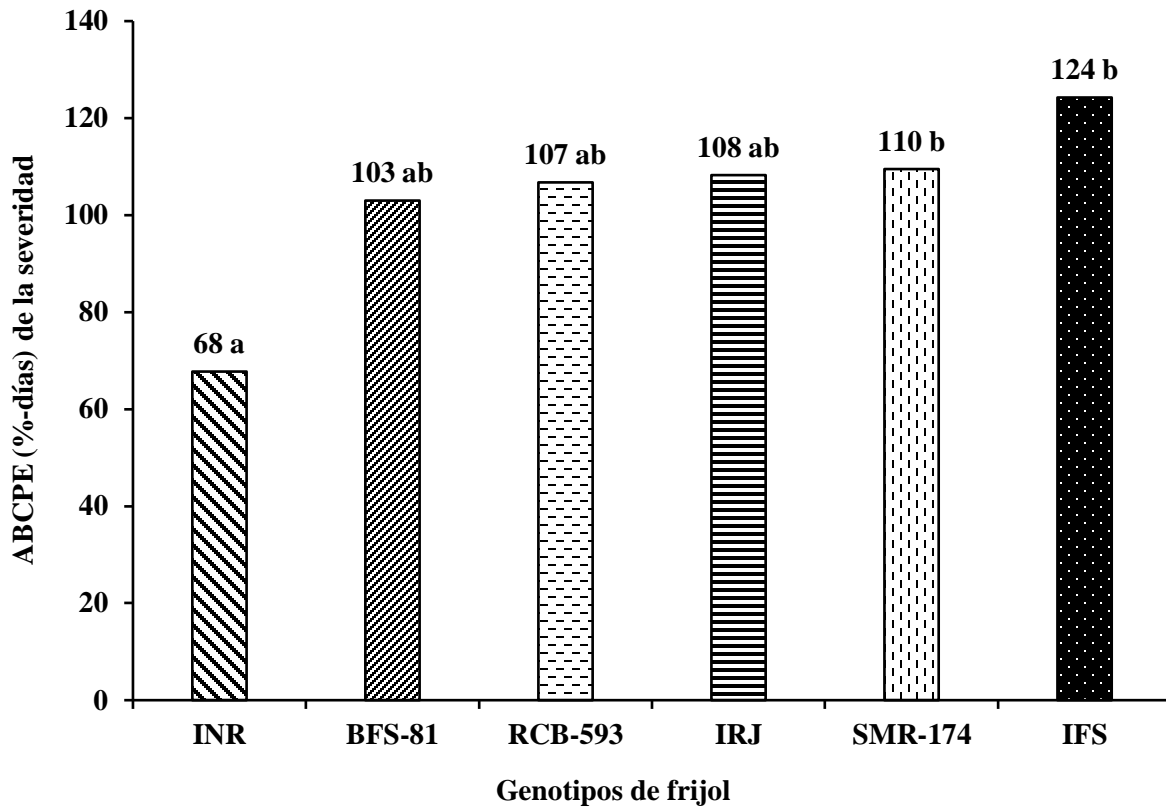


Figura 6. Área bajo la curva de progreso de la severidad de mancha angular en seis genotipos de frijol.

5.2. Rendimiento de los genotipos evaluados

Según el ANDEVA, hubo diferencias significativas entre los genotipos con respecto al número de vainas por planta ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) y en el peso de 100 granos ($p = 0.0040$; $\alpha = 0.05$), pero no en el número de granos por vaina ($p = 0.1626$; $\alpha = 0.05$). El genotipo con el número promedio más alto de vainas por planta fue el Inta Rojo Jinotega (IRJ) con nueve vainas, mientras que el genotipo donde se observó el número más bajo de vainas por planta fue el SMR-174 con cinco vainas. El genotipo con el mayor peso de 100 granos fue RCB-593 con 27.0 gramos, mientras que el de menor peso fue el genotipo IRJ con 22.7 gramos y se diferenciaron estadísticamente. Los otros cuatro genotipos mostraron valores intermedios en el peso de los cien granos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio del número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV) y peso de 100 granos (Peso_(100 granos))

Genotipos	NVP	NGV	Peso _(100 granos)
SMR-174	5 a	2.8 a	23.2 ab
INR	6 ab	3.1 a	26.2 bc
RCB-593	7 ab	3.0 a	27.0 c
BFS-81	7 ab	2.7 a	25.4 abc
IFS	7 b	2.9 a	24.4 abc
IRJ	9 c	2.9 a	22.7 a

El ANDEVA realizado mostró diferencias significativas en el rendimiento entre los genotipos en 15 m² ($p = 0.0006$; $\alpha = 0.05$), en kg ha⁻¹ ($p = 0.0006$; $\alpha = 0.05$) y en t ha⁻¹ ($p = 0.0003$; $\alpha = 0.05$). En el área de los 15 m² según la prueba de Tukey en el genotipo Inta Rojo Jinotega (IRJ) se obtuvo el mayor rendimiento con un peso promedio de 3.0 kg y el de menor rendimiento fue el genotipo Inta Nutritivo Rendidor (INR) con un peso promedio de 1.5 kg, diferenciándose estadísticamente los dos genotipos mencionados. El genotipo con el mayor rendimiento en kg ha⁻¹ fue el Inta Rojo Jinotega (IRJ) con un peso promedio de 2020 kg y el de menor rendimiento fue el genotipo Inta Nutritivo Rendidor (INR) con un peso promedio de 980 kg, diferenciándose así estadísticamente los dos genotipos. Asimismo, el genotipo con el mayor rendimiento en t ha⁻¹ fue el Inta Rojo Jinotega (IRJ) con un peso promedio de 2.0 t y el de menor rendimiento fue el genotipo Inta Nutritivo Rendidor (INR) con un peso promedio de 0.98 t, diferenciándose así estadísticamente entre los dos genotipos, mientras que entre los otros cuatro genotipos no se observaron diferencias significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento obtenido en 15 m² (kg), peso kg ha⁻¹ y peso tonelada ha⁻¹ en seis genotipos de frijol.

Genotipo	15 m ²	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹
INR	1.5 a	980 a	0.98 a
SMR-174	1.7 a	1140 a	1.18 a
RCB-593	1.8 a	1220 a	1.2 a
BFS-81	2.1 ab	1386 ab	1.4 ab
IFS	2.7 bc	1787 bc	1.8 bc
IRJ	3.0 c	2020 c	2.0 c

Los rendimientos de los genotipos IFS, BFS-81 e IRJ obtenidos en el presente estudio contrastan con los obtenidos por Duarte Rivas (2018), el cual evaluó estos mismos genotipos y otros 16

genotipos más en seis ambientes diferentes y reporta rendimientos de 1 151 kg ha⁻¹, 1 101 kg ha⁻¹ y 922 kg ha⁻¹ para los genotipos BFS 81, Inta Fuerte Sequía e Inta Rojo respectivamente. Estas diferencias en rendimiento se deben probablemente al manejo agronómico y al tipo de ambiente donde se establecieron ambos experimentos.

En un estudio llevado a cabo por Chaves-Barrantes *et al.*, (2018) en el cual el objetivo era caracterizar fenotípicamente líneas avanzadas y germoplasma comercial de frijol por su resistencia a sequía terminal, encontraron que el rendimiento del genotipo RCB-593 alcanzó un rendimiento de 3 099 kg ha⁻¹ bajo condiciones de riego. Este rendimiento encontrado por Chaves-Barrantes *et al.*, (2018) supera 2.5 veces el rendimiento encontrado en el presente estudio, el cual fue de 1 220 kg ha⁻¹ (Cuadro 3).

Este contraste en el rendimiento y sus componentes pueden ser el resultado de diferencias en las condiciones climáticas y edáficas. Por consiguiente, Ligarreto–Moreno y Pimentel–Ladino (2021) y Rodríguez-González *et al.*, (2011) recomiendan que es necesario tener en cuenta el efecto del ambiente en el comportamiento de los genotipos de frijol que se estén evaluando.

VI. CONCLUSIONES

- El genotipo más susceptible con respecto a la severidad de mancha angular fue el Inta Fuerte Sequía (IFS) y el menos susceptible fue el Inta Nutritivo Rendidor (INR).
- El genotipo con el mayor rendimiento fue el Inta Rojo Jinotega (IRJ) y el genotipo con el menor rendimiento fue el Inta Nutritivo Rendidor (INR).

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones con estos genotipos en áreas de terreno más grande para determinar con exactitud el potencial de tolerancia a mancha angular y el potencial de rendimiento.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aggarwal, V.D., Pastor-Corrales, M.A., Chirwa, R.M., and Buruchara, R.A. (2004). *Andean beans (Phaseolus vulgaris L.) with resistance to the angular leaf spot pathogen (Phaeoisariopsis griseola) in southern and eastern Africa. Euphytica* 136:201-210.
- Alva-Valdivia, L. M., Goguitchaichvili, A., Ferrari, L., Rosas-Elguera, J., Urrutia-Fucugauchi, J., and Zamorano-Orozco, J. J. (2000). *Paleomagnetic data from the trans-mexican volcanic belt: implications for tectonics and volcanic stratigraphy. Earth Planets Space* 52:467-478.
- Ariza-Nieto, M., Blair, M.W., Welch, R.M., and Glahn, R.P. (2007). *Screening of bioavailability patterns in eight vean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes using the Caco-2cell in vitro model. Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55:7950-7956.
- Beebe, SE; Pastor-Corrales, MA. (1991). Breeding for disease resistance. *In van Schoonhoven, A; Voysest, O. eds. Common beans: Research for Crop Improvement. C. A. B. International y CIAT, Wallingford, UK. p. 561-617.*
- Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W., and Acosta-Gallegos, J.A. (2013). *Phenotyping common beans fo radaptation to drought. Frontiers in Plant Science* 4:1-20.
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P.S., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G., and Papa, R. (2012). *Mesoamerican origin of the common bean (Phaseolus vulgaris L.) is revealed by sequence data. Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 109:5148-5149.
- Bitocchi, E., Bellucci, E., Giardini, A., Rau, D., Rodriguez, M., Biagetti, E., Santilocchi, R., Zeuli, P.S., Gioia, T., Logozzo, G., Attene, G., Nanni, L., and Papa, R. (2013). *Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean (Phaseolus vulgaris) in Mesoamerica and the Andes. New Phytologist* 197:300-313.
- Bitocchi, E., Rau, D., Bellucci, E., Rodriguez, M., Murgia, M.L., Gioia, T., Santo, D., Nanni, L., Attene, G., and Papa, R. (2017). *Beans (Phaseolus ssp.) as a model for understanding crop evolution. Frontiers in Plant Science* 8:1-21.
- Blair, M.W. (2013). *Mineral biofortification strategies for food staples: the example of common bean. Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:8287-8294.
- Blair, M.W., Izquierdo, P., Astudillo, C., and Grusak, M.A. (2013). *A legume biofortification quandary: variability and genetic control of seed coat micronutrient accumulation in common beans. Frontiers in Plant Science* 4:1-14.
- Bouis, H.E. (2003). *Micronutrient fortification of plants through plant breeding: can it improve nutrition in man at low cost? Proceedings of the Nutrition Society* 62:403-411.

- Bouis, H.E., and Welch, R.M. (2010). *Biofortification: a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. Crop Science* 50:S20-S32.
- Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V., and Pfeiffer, W.H. (2011). *Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. Food and Nutrition Bulletin* 32:31-40.
- Broughton, W.J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., and Vanderleyden, J. (2003). *Beans (Phaseolus spp.) – model food legumes. Plant and Soil* 252:55-128.
- Cambraia, T.L.L., Fontes, R.L.F., Vergütz, L., Vieira, R.F., Neves, J.C.L., Corrêa Netto, P.S., and Dias, R.F.N. (2019). *Agronomic biofortification of common bean grain with zinc. Pesquisa Agropecuária Brasileira* 54:1-7.
- Caproni, L., Raggi, L., Talsma, E.F., Wenzl, P., and Negri, V. (2020). *European landrace diversity for common bean biofortification: a genome-wide association study. Nature Research* 10:1-13.
- Castro-Guerrero, N.A., Isidra-Arellano, M.C., Mendoza-Cozatl, D.G., and Valdés-López, O. (2016). *Common bean: A legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. Frontiers in Plant Science* 7:1-7.
- Centro de Trámites de las Exportaciones (CETREX). (2020). Principales productos exportación 2019 – 2020. <https://www.cetrex.gob.ni/website/servicios/estadisticas.jsp>
- Chacón S., M.I., Pickersgill, B., Debouck, D.G., and Arias, J.S. (2007). *Phylogeographic analysis of the chloroplast DNA variation in wild common bean (Phaseolus vulgaris L.) in the Americas. Plant Systematics and Evolution* 266:175-195.
- Chaves-Barrantes, N.F., Polanía, J.A., Muñoz-Perea, C.G., Rao, I.M., y Beebe, S.E. (2018). *Caracterización fenotípica por resistencia a sequía terminal de germoplasma de frijol común. Agronomía Mesoamericana* 29(1):1-17.
- Correa-Victoria, F.J., Pastor-Corrales, M.A., and Saettler, A.W. (1989). Angular leaf spot. In: H.F. Schwartz and M.A. Pastor-Corrales (editors). *Bean production problems in the tropics*. CIAT, Cali, Colombia. p. 59-75.
- Coutinho, G., Carneiro, L.M.S., Juliatti, F.C. (2016). *Resistance of bean genotypes to Bean golden mosaic virus (VMDF). Bioscience Journal* 32:73-80.
- de Freitas-Vanzo, A.T., da Silva, C.C., Antunes Chaves, V.C., Garcia, M.H., de Aquino, L.T., de Oliveira Molina, R. (2021) a. *Detection of Bean golden mosaic virus in Fabaceae family plants. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 4:1021-1032.
- de Freitas-Vanzo, A.T., da Silva, C.C., de Novaes, T.G., Mazzieri Walz, D., Guimarães, F.C.M., Kuwahara, M.K., de Oliveira Molina, R., and Leite Junior, R.P. (2021) b. *Evaluation of*

- disease severity caused by Bean golden mosaic virus in different bean cultivars. *Canadian Journal of Plant Pathology* 43:172-178.
- de Jesus Junior, W.C., do Vale, F.X. R., Coelho, R.R., Hau, B., Zambolim, L., Costa, L.C., and Bergamin Filho, A. (2001). *Effects of angular leaf spot and rust on yield loss of Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology* 91:1045-1053.
- Delgado-Salinas, A., Bibler, R., and Lavin, M. (2006). *Phylogeny of the genus Phaseolus (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape*. *Systematic Botany* 31: 779-791.
- Demelash, B.B. (2018). *Common bean improvement status (Phaseolus vulgaris L.) in Ethiopia*. *Advances in Crop Science and Technology* 6:1-6.
- Diaz, L.M., Ricaurte, J., Tovar, E., Cajiao, C., Terán, H., Grajales, M., Polanía, J., Rao, I., Beebe, S., and Raatz, B. (2018). *QTL analyses for tolerance to abiotic stresses in a common bean (Phaseolus vulgaris L.) population*. *PLoS ONE* 13:1-26.
- Duarte-Canales, H., Benavides-González, A. (2020). *Riego por goteo en cultivares de tomate (Solanum lycopersicum L.)*, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. *La Calera* 20(34):35-40.
- Duarte Rivas, N. (2018). *Comportamiento agronómico de 19 genotipos de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en seis ambientes bajo condiciones de sequía y suelos deficientes en fósforo, 2015-2016* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua].
- Duc, G., Agrama, H., Bao, S., Berger, J., Bourion, V., De Ron, A.M., Gowda, C.L.L., Mikic, A., Millot, D., Singh, K.B., Tullu, A., Vandenberg, A., Vaz Patto, M.C., Warkentin, T.D., and Zong, X. (2015). *Breeding annual grain legumes for sustainable agriculture: new methods to approach complex traits and target new cultivar ideotypes*. *Critical Review in Plant Sciences* 34:381-411.
- Dwivedi, S.L., Sahrawat, K.L., Rai, K.N., Blair, M.W., Andersson, M., Pfeiffer, W. (2012). *Nutritionally enhanced staple food crops*. *Plant Breeding Reviews* 34:169-262.
- Faria, J.C., and Maxwell, D.P. (1999). *Variability in Geminivirus isolated with Phaseolus spp. in Brazil*. *Phytopathology* 89:262-268.
- Freytag, G.F., and Debouck, D.G. (2002). *Taxonomy, distribution, and ecology of the genus Phaseolus (Leguminosae-papilionoideae) in North America, Mexico and Central America*. Botanical Research Institute of Texas (BRIT), Forth Worth, TX, USA. 298 p. (Sida, Botanical Miscellany N° 23).
- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V., and Arora P. (2018). *Biofortified crops generated by breeding agronomy and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world*. *Frontiers in Nutrition*, 5: 12.

- Gonzales, A.M., Rodino, A.P., Santalla, M., DeRon, A.M. (2009). *Genetics of intra-gene pool and inter-gene pool hybridization for seed traits in common bean (Phaseolus vulgaris L.) germplasm from europe. Field Crops Research* 112:66-76.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2009). Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Ncaragua.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2010). Guía de identificación y manejo integrado: plagas del frijol en Centroamérica. IICA, Proyecto Red SICTA, Cooperación Suiza en América Central. Managua: IICA. 48 p.
- Ishikawa, F., Souza, E., and Davide, L. (2008). *Genetic variability within isolates of Colletotrichum lindemuthianum belonging to race 65 from the state of Minas Gerais, Brazil. Biologia* 63:156-161.
- James, W.C. (1974). *Assessment of plant diseases and losses. Annual Review of Phytopathology* 12:27-48.
- Kami, J., Becerra Velásquez, V., Debouck, D.G., and Gepts, P. (1995). *Identification of presumed ancestral DNA sequences of phaseolin in Phaseolus vulgaris. Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 92:1101-1104.
- Karkashian, J., Ramos-Reynoso, E.D., Maxwell, D.P., and Ramírez, P. (2011). *Begomoviruses associated with bean golden mosaic disease in Nicaragua. Plant Disease* 95:901-906.
- Kelly, J.D., and Vallejo, V.A. (2004). *A comprehensive review of the major genes conditioning resistance to anthracnose in common bean. HortScience* 39:1196-1207.
- Kwak, M., and Gepts, P. (2009). *Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (Phaseolus vulgaris L., Fabaceae). Theoretical and Applied Genetics* 118:979-992.
- Kwak, M., Toro, O., Debouck, D.G., and Gepts, P. (2012). *Multiple origins of the determinate growth habit in domesticated common bean (Phaseolus vulgaris). Annals of Botany* 110: 1573-1580.
- Landeras, E., Trapiello, E., Braña, M., González, A.J. (2017). Occurrence of angular leaf spot caused by *Pseudocercospora griseola* in *Phaseolus vulgaris* in Asturias, Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 15 (3):1-5.
- Ligarreto–Moreno, G., & Pimentel–Ladino, C. (2021): *Grain yield and genotype x environment interaction in bean cultivars with different growth habits. Plant Production Science. DOI: 10.1080/1343943X.2021.1981141.*
- Martiniano-Souza, M.C., Gonçalves-Vidigal, M.C., Lacanallo, G.F., Costa, A.F., Vidigal Filho, P.S., Dartibale, G.B., Coêlho, M., Calvi, A.C., and Felipin-Azevedo, R. (2017). *Genetic*

- variability of Colletotrichum lindemuthianum by sequencing ITS regions. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 60:9-10.
- Messina, V. (2014). *Nutritional and health benefits of dried beans. The American Journal of Clinical Nutrition* 100:437S-442S.
- Meziadi, C., Richard, M.M., Derquennes, A., Thareau, V., Blanchet, S., Gratiás, A., Pflieger, S., Geffroy, V. (2016). *Development of molecular markers linked to disease resistance genes in common bean based on whole genome sequence. Plant Science* 242:351-357.
- Miklas, P.N., Kelly, J.D., Beebe, S.E., and Blair, M.W. (2006). *Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: from classical to MAS breeding. Euphytica* 147:105-131.
- Miklas, P.N., Fourie, D., Chaves, B., and Chirembé, C. (2017). *Common bacterial blight resistance QTL BC420 and SU91 effect on seed yield, seed weight, and canning quality in dry bean. Crop Science* 57:802-811.
- Mmbaga, M.T. and Steadman, J.R. (1992). *Nonspecific resistance to rust in pubescent and glabrous common bean genotypes. Phytopathology* 82:1283-1287.
- Mohammed, A. (2013). *An overview of distribution, biology and the management of common bean anthracnose. Journal of Plant Pathology & Microbiology* 4:1-6.
- Morales, F.J., and Anderson, P.K. (2001). *The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. Archives of Virology* 146:415-441.
- Muñoz, G., Giraldo, G., y Fernández de Soto, J. (1993). *Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 174 p.*
- Nay, M.M., Souza, T.L.P.O., Raatz, B., Mukankusi, C.M., Gonçalves-Vidigal, M.C., Abreu, A.F.B., Melo, L.C., Pastor-Corrales, M.A. (2019). *A review of angular leaf spot resistance in common bean. Crop Science* 59:1-16.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2016). Chapter 4: Common bean (*Phaseolus vulgaris*). Safety assessment of transgenic organisms in the environment: OECD Consensus Documents Volume 6. 25 p.
- Padder, B.A., Sharma, P.N., Awale, H.E., and Kelly, J.D. (2017). *Colletotrichum lindemuthianum, the causal agent of bean anthracnose. Journal of Plant Pathology* 99:317-330.
- Palacioglu, G., Bayraktar, H., and Ozer, G. (2020). *Genetic variability of Colletotrichum lindemuthianum isolates from Turkey and resistance of Turkish bean cultivars. Spanish Journal of Agricultural Research* 18:1-12.

- Pastor-Corrales, M.A., Jara, C., and Singh, S.P. (1998). *Pathogenic variation in, sources of, and breeding for resistance to Phaeoisariopsis griseola causing angular leaf spot in common bean*. *Euphytica* 103:161-171.
- Pathania, A., Sharma, S.K., and Sharma, P.N. (2014). Chapter 2: Common bean. In *Broadening the Genetic Base of Grain Legumes*. Singh, M., Bisht, I.S., and Dutta, M. (eds.). Springer New Delhi. p. 11-50.
- Petry, N., Boy, E., Wirth, J.P., and Hurrell, R.F. (2015). *The potential of the common bean (Phaseolus vulgaris) as a vehicle for iron biofortification*. *Nutrients* 7:1144-1173.
- Pfeiffer, W.H., and McClafferty, B. (2007). *HarvestPlus: breeding crops for better nutrition*. *Crop Science* 47:S88-S105.
- Porch, T.G., Beaver, J.S., Debouck, D.G., Jackson, S.A., Kelly, J.D., and Dempewolf, H. (2013). *Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climate change*. *Agronomy* 3:433-461.
- Rocha, C.S., Castillo-Urquiza, G.P., Lima, A.T., Silva, F.N., Xavier, C.A., Hora-Junior, B.T., Beserra-Junior, J.E., Malta, A.W., Martin, D.P., Varsani, A., Alfenas-Zerbini, P., Mizubuti, E.S.G., and Zerbini, F.M. (2013). *Brazilian begomovirus populations are highly recombinant, rapidly evolving, and segregated based on geographical location*. *Journal of Virology* 87:5784-5799.
- Rodríguez de Luque, J.J., and Creamer, B. (2014). *Major constraints and trends for common bean production and commercialization; establishing priorities for future research*. *Agronomía Colombiana* 32:423-431.
- Rodríguez-González., R., Ponce-Medina, J., Rueda-Puente, E., Avendaño-Reyes, L., Hernández, P., Santillano-Cazares, J., & Cruz-Villegas, M. (2011). *Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2):543-558.
- Rubiales, D., and Mikic, A. (2015). *Introduction: legumes in sustainable agriculture*. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34:1-3.
- Shaner, G., and Finney, R.E. (1977). *The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat*. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- Singh, S.P., Gepts, P., and Debouck, D.G. (1991). *Races of common bean (Phaseolus vulgaris, Fabaceae)*. *Economic Botany* 45:379-396.
- Singh, S.P., and Schwartz, H.F. (2010). *Breeding common bean for resistance to diseases: a review*. *Crop Science* 50:2199-2223.
- Smil, V. (1999). *Nitrogen in crop production: an account of global flows*. *Global Biogeochemistry Cycles* 13:647-662.

- Sperotto, R.A., and Ricachenevsky, F.K. (2017). *Common bean Fe biofortification using model Species' Lessons. Frontiers in Plant Science* 8:1-6.
- Vance, C.P. (2001). *Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiology* 127:390-397.
- Van Schoonhoven, A., and Pastor-Corrales, M.A. (1987). Standard system for the evaluation of bean germplasm. CIAT, Cali, Colombia. 60 p.
- Venkateshwaran, M., Volkening, J.D., Sussman, M.R., and Ane, J.M. (2013). *Symbiosis and the social network of higher plants. Current Opinion in Plant Biology* 16:118-127.
- Wang, T.L., Domoney, C., Hedley, C.L., Casey, R., and Grusak, M.A. (2003). *¿Can we improve the nutritional quality of legume seeds? Plant Physiology* 131:886-891.
- White, P.J., and Broadley, M.R. (2009). *Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in. New Phytologist* 182:49-84.
- Yeken, M.Z., Akpolat, H., Karaköy, T., and Çiftçi, V. (2018). *Assessment of mineral content variations for biofortification of the bean seed. International Journal of Agriculture and Wildlife Science (IJAWS)* 4:261-269.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Mapa satelital del sitio donde se estableció el experimento con variedades mejoradas de frijol.



Anexo 2. Descripción de las seis variedades mejoradas de frijol utilizadas en la investigación.

a) Características de la variedad INTA Productivo Sequia

Descripción	Características
Genotipo	BFS 81
Habito de crecimiento	Iib Erecto indeterminado guía corta
Días a floración (dds)	32 - 34 días
Días a maduración fisiológica	62 - 66 días
Días a cosecha	68 - 72 días
Distribución de vainas	Intermedia (parte media de la planta)
Sistema radicular	Profundo
Color de grano	Rojo claro brillante
Mustia hilachosa	Susceptible
Mosaico dorado	Tolerante
Mosaico común	Resistente (gen bc3)
Bacteriosis común	Susceptible
Mancha angular	Susceptibles
Reacción a sequia	Tolerante
Reacción a alta temperatura	Susceptible
Potencial de rendimiento	30 - 33 qq mz ⁻¹
Requerimiento hídrico (mm)	150 - 450 mm

b) Características de la variedad INTA Fuerte Sequia

Descripción	Características
Habito de crecimiento	Arbustivo intermedio guía corta
Días a floración	30-32
Días a maduración fisiológica	60-64
Días a cosecha	72-74
Color de grano	rojo oscuro brillante
Mosaico dorado	Tolerante
Mosaico común	Tolerante
Bacteriosis	Susceptible
Mancha angular	Intermedio
Roya reacción a sequia	Tolerante
Reacción a alta temperatura	Tolerante
Rendimiento	30-32qq

c) Características de la variedad INTA Rojo Jinotega

Descripción	Características
Código RS 901-6	INTA Rojo Jinotega
Habito de crecimiento	Arbustivo guía corta
Días a floración	28-32
Días a maduración fisiológica	60-64
Días a cosecha	65-70
Color de grano	Rojo claro brillante
Mustia hilachosa	Tolerante
Mosaico dorado	Tolerante
Mosaico común	Resistente
Bacteriosis	Tolerante
Mancha angular	Tolerante
Reacción a sequia	Tolerante
Reacción a alta temperatura	Tolerante por escape
Rendimiento por manzana qq	26-33qq
Requerimiento hídrico en el ciclo	180-300 mm

d) Características de la variedad INTA Biosequía

Descripción	Características
Genotipo	RCB 593
Habito de crecimiento	II b Arbustivo intermedio con guía larga
Días a floración (dds)	32 – 34 días
Días a maduración fisiológica	62 – 64 días
Días a cosecha	68 – 70 días
Distribución de vainas	Intermedia (parte media de la planta)
Sistema radicular	Profundo
Color de grano	Rojo claro brillante
Mustia hilachosa	Susceptible
Mosaico dorado	Tolerante
Mosaico común	Resistente (gen bc3)
Bacteriosis común	Susceptible
Mancha angular	Susceptibles
Reacción a sequia	Tolerante
Reacción a alta temperatura	Susceptible
Potencial de rendimiento en zonas secas	15 - 20 qq/mz
Rendimiento en zonas intermedias	25 - 30 qq/mz
Requerimiento hídrico (mm)	150-450mm
Contenido nutricional (Fe y Zn)	51 ppm de hierro y 29 ppm de zinc

e) Características de la variedad Frijol Nutritivo y Rendidor (INR)

Descripción	Características
Habito de Crecimiento	Arbustiva guía corta
Días a floración	34 - 36
Días a maduración fisiológica	66 - 68
Días a cosecha	74 - 76
Color de grano	Rojo vino brillante
Mosaico común	Resistente
Mosaico dorado	Resistente
Bacteriosis	Tolerante
Mancha angular	Susceptible
Reacciona a humedad	Tolerante
Contenido de hierro (ppm)	71 - 78
Contenido de zinc (ppm)	29 - 31
Rendimiento qq mz ⁻¹	34 - 36

Anexo 3. Escala del sistema estándar para evaluación de germoplasma de frijol para enfermedades fungosas y bacterianas.

Clasificación	Categorías	Descripción	Comentarios
1,2,3	Resistente	Síntomas no visibles o muy leves	Germoplasma útil como progenitor o variable comercial
4,5,6	Intermedio	Síntomas visibles y conspicuos que solo ocasionan un daño económico	Germoplasma utilizable como variable comercial o como fuente de resistencia a cierta enfermedad
7,8,9	Susceptible	Síntomas severos a muy severos que causan pérdidas considerables en rendimientos o la muerte	En la mayoría de los casos, germoplasma no útil