



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Validación de líneas promisorias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), tolerantes a cambios climáticos en región III, primera 2020

Autores

Br. Alba Gissell Picado Lizano

Br. Estefany Abigail Ortega López

Asesores

Ing. Agr. MSc. Moisés Blanco Navarro

Ing. Agr. Brandon Castillo Corea

Ing. Agr. Arnoldo Rodríguez Polanco

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**Validación de líneas promisorias de frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.), tolerantes a cambios
climáticos en región III, primera
2020**

Autores

Br. Alba Gissell Picado Lizano

Br. Estefany Abigail Ortega López

Asesores

Ing. Agr. MSc. Moisés Blanco Navarro

Ing. Agr. Brandon Castillo Corea

Ing. Agr. Arnoldo Rodríguez Polanco

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

Managua, Nicaragua
Noviembre, 2021



Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

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 Agrónomo

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

INDICE DE CONTENIDO

| SECCIÓN | PÁGINA |
|--|------------|
| DEDICATORIA | <i>i</i> |
| AGRADECIMIENTO | <i>ii</i> |
| INDICE DE CUADROS | <i>iii</i> |
| INDICE DE FIGURAS | <i>iv</i> |
| INDICE DE ANEXOS | <i>v</i> |
| RESUMEN | <i>vi</i> |
| ABSTRACT | <i>vii</i> |
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo general | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos | 3 |
| III. MARCO DE REFERENCIA | 4 |
| 3.1 Generalidades | 4 |
| 3.1.1 Origen | 4 |
| 3.1.2 Etapas de crecimiento | 4 |
| 3.1.3 Propiedades nutritivas del frijol | 5 |
| 3.1.4 Exigencias de clima y suelo del cultivo | 5 |
| 3.1.5 Plagas y enfermedades asociadas al frijol | 5 |
| 3.1.6 Cosecha | 6 |
| 3.1.7 Densidad poblacional final | 6 |
| 3.1.8 Peso de 100 granos | 6 |
| 3.2 Validación de una nueva línea | 7 |
| 3.2.1 Proceso de validación de una nueva línea | 8 |
| IV. MATERIALES Y METODOS | 9 |
| 4.1 Ubicación del estudio | 9 |
| 4.2 Descripción de las localidades | 10 |
| 4.3 Diseño metodológico | 10 |
| 4.4 Variables evaluadas | 11 |
| 4.5 Mejora genética del cultivo el frijol | 15 |
| 4.6 Líneas de frijol | 16 |
| 4.7 Recolección de datos | 17 |
| 4.8 Plantas cosechadas | 17 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 18 |
| 5.1 Variables de crecimiento y desarrollo | 18 |
| 5.1.1 Habito de crecimiento | 18 |
| 5.2 Variables de rendimiento | 20 |
| 5.2.1 Plantas cosechadas | 20 |
| 5.2.2 Peso de 100 granos | 22 |
| 5.2.3 Potencial de rendimiento en kg. ha ⁻¹ | 24 |
| 5.3 Adaptabilidad | 25 |
| 5.3.1 Cálculo de índice ambiental | 25 |
| 5.3.2 Dispersión y líneas de tendencia | 28 |

| | |
|--------------------------------|----|
| 5.3.3 Cálculo de riesgo | 29 |
| VI. CONCLUSIONES | 31 |
| VII. RECOMENDACIONES | 32 |
| VIII. LITERATURA CITADA | 33 |
| IX. ANEXOS | 36 |

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a **DIOS** por haberme permitido llegar hasta aquí, por darme la fuerza y fortaleza para seguir adelante y poder culminar mis estudios.

A mi hija Keity Delgado que es mi motivación y hace que me esfuerce cada día más para ser el mejor ejemplo en su vida, gracias por tu amor que es la causa de mi felicidad te amo.

A mi esposo Marvin Delgado quien me brindo su amor, su apoyo incondicional y siempre confiar en mí.

A mis padres Gilberto Picado y Alba Lizano por su amor y su apoyo, sin su trabajo no sería la persona que soy hoy y por siempre confiar en mí. Papá nunca olvidaré el dolor de tu partida y jamás olvidare la mejor experiencia de tenerte en mi vida; los amo.

A mi compañero y asesor Ing. Agr. Brandon Castillo por su apoyo y colaboración en este trabajo.

Todo lo puedo en cristo que me fortalece. Filipenses 4:13

Br. Alba Gissell Picado Lizano

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por haberme dado la fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se me presentaron durante esta difícil, pero propedéutica etapa de mi vida.

A mi madre Sra. Evelia López Sánchez y a mi padre Sr. José Ortega Jarquín por haberme dado la oportunidad de superarme en este camino de mucha perseverancia y de difícil prececer, por su comprensión, amor y su apoyo con los recursos necesarios para estudiar, gracias por ser como son, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy.

A nuestro excelente asesor Ing. Agr. MSc. Moisés Blanco Navarro por haberme dedicado su tiempo dándome sus instrucciones antes y durante el proceso de esta investigación.

A mis tíos: Denis López, Maritza López y María López a quienes quiero mucho y estuvieron siempre presente brindándome su apoyo en todo momento.

A mis hermanos: William Antonio, Perla Elizabeth y Rony Emilio por todos los sacrificios y esfuerzos que hicieron por ayudarme y brindarme siempre palabras de aliento llenándome de inspiración.

A mi amiga Danelia Urbina Pérez por brindarme su apoyo incondicional en todos los aspectos posibles.

A todos los docentes de la Universidad Nacional Agraria por haber desempeñado muy bien su trabajo impartiendo sus enseñanzas.

“Los que sembraron con lágrimas, con regocijo segaran” Salmos 126:5

Br. Estefany Abigail Ortega López

AGRADECIMIENTO

A Dios porque su bondad, su amor y misericordia no tiene fin, por estar presente guiándonos no solo en esta etapa tan importante de nuestras vidas, sino en todo momento ofreciéndonos lo mejor y buscando lo deseable para nuestra persona, cada momento vivido durante todos estos años son simplemente únicos y no se cansan nuestras ganas de decir que es gracias a él que esta meta está cumplida.

Nuestro más sincero y especial agradecimiento a nuestro asesor principal Ing. Agr. MSc. Moisés Blanco Navarro por habernos instruido con dedicación y apoyo incondicional en la realización de este trabajo sin recibir nada a cambio.

A todos los docentes a quienes debemos gran parte de nuestros conocimientos, por su deseo de servir enseñándonos a comprender la importancia que tiene crecer con actitudes positivas de manera intelectual y formarnos como nuevas profesionales.

A nuestros padres quienes a lo largo de nuestras vidas han apoyado y motivado nuestra formación académica, creyeron en nosotras en todo momento y nunca dudaron de nuestras capacidades, y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos brindaron su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad Nacional Agraria la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotras, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos para desempeñarnos como personas de bien.

Al INTA por brindarnos la oportunidad de evaluar este estudio y el apoyo brindado a lo largo de la realización de este trabajo.

Br. Alba Gissell Picado Lizano

Br. Estefany Abigail Ortega López

INDICE DE CUADROS

| CUADRO | PÁGINA |
|--|--------|
| 1. Ubicación de las réplicas de la validación líneas de frijol en el departamento de Managua. 2020. | 9 |
| 2. Descripción de las localidades en la validación de líneas promisorias de frijol, tolerantes a cambios climáticos en región III, primera 2020 | 10 |
| 3. Líneas, origen, morfología, características y rendimiento del frijol utilizado en la validación de líneas promisorias, tolerantes a cambios climáticos en región III, primera 2020. | 16 |
| 4. Hábito de crecimiento, evaluación de adaptación vegetativa y adaptación reproductiva de materiales de frijol adaptados a cambio climático en la región III, época primera 2020. | 18 |
| 5. Valores de las variables población final, peso de 100 semillas, y rendimiento de materiales adaptados a cambios climáticos en la región III, época primera 2020. | 21 |
| 6. Categorización de medias por la prueba de SFD Fisher 0.05 de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos en la región III, época primera 2020. | 24 |
| 7. Cálculo del índice ambiental sobre el rendimiento potencial de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos, época primera 2020. | 26 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA | | PÁGINA |
|---------------|--|---------------|
| 1. | Escala para evaluar las variaciones del color del grano de frijol. | 7 |
| 2. | Hábitos de crecimientos del cultivo de frijol. | 13 |
| 3. | Peso de 100 granos de líneas de frijol y la variedad, adaptados a cambios climáticos en la región III, época primera 2020. | 23 |
| 4. | Dispersión y líneas de tendencias de materiales de frijol, resistentes a cambio climático en la región III, época de primera 2020. | 28 |
| 5. | Estimación del riesgo de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos, en la región III, época de primera 2020. | 29 |

INDICE DE ANEXOS

| ANEXO | PAGINA |
|---|--------|
| 1. Granos de frijol INTA Ferroso | 36 |
| 2. Parcela de frijol RCB 593 | 36 |
| 3. Parcela de frijol INRA Ferroso | 36 |
| 4. Granos de frijol INTA Ferroso | 36 |
| 5. Parcelas de frijol SEF 60 | 36 |
| 6. Vainas de frijol SEF 60 | 36 |
| 7. Vainas de frijol INTA Ferroso | 37 |
| 8. Secado de vainas de frijol INTA Ferroso | 37 |
| 9. Diseño del estudio de parcelas apareadas | 38 |

RESUMEN

Se estableció un experimento en el departamento de Managua en los municipios de Distrito III, Ticuantepe y Tipitapa, durante la época de primera del 2020. Para disponer de un modelo eficiente de innovación e investigación que cumpla una función integradora vinculada al cambio climático y que sirva de espacio para atender las necesidades y demandas de productores, para que estos puedan incorporar conocimientos tecnológicos para la optimización y adaptación al cambio climático de los cultivos. Cada replica consto de 3 líneas de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L), tolerante a sequías y a altas temperaturas, los cuales fueron utilizados para establecer parcelas, las líneas validadas fueron RCB 593, SEF 60 e INTA Ferroso. Se establecieron parcelas apareadas de 400 m² 1 parcela por tratamiento, se analizó la variable rendimiento a través de un análisis de adaptabilidad, siendo la línea con mayor rendimiento RCB 593 con una producción promedio de 931.15 kg ha⁻¹, seguido de SEF 60 con 829.69 kg ha⁻¹, INTA Ferroso fue el que menor rendimiento obtuvo con 669.08 kg ha⁻¹ debajo de la media ambiental de 809.97 kg ha⁻¹. Con respecto a la repuesta de estas líneas al ambiente se obtuvo que RCB 593 y SEF 60 tuvieron mejor respuesta al ambiente con un R² de 0.97 y 0.98.

Palabras clave: análisis de adaptabilidad, validación de tecnología, sequía, frijol

ABSTRACT

A technological validation was established in the department of Managua in the municipalities of District III, Ticuantepe and Tipitapa, during the first season of 2020. To have an efficient model of innovation and research that fulfills an integrating function linked to climate change and that serve as a space to meet the needs and demands of producers, so that they can incorporate technological knowledge for the optimization and adaptation to climate change of crops. Each replica consisted of 3 genotypes of red common bean (*Phaseolus vulgaris* L), tolerant to droughts and high temperatures, which were duplicated and used to establish plots, the validated genotypes were RCB 593, SEF 60 and INTA Ferroso. Paired plots of 400 m² were established, the yield variable was analyzed through an adaptability analysis, being the genotype with the highest yield RCB 593 with an average production of 931.15 kg ha⁻¹, followed by SEF 60 with 829.69 kg ha⁻¹, INTA Ferroso was the one that obtained the lowest yield with 669.08 kg ha⁻¹ below the environmental average of 809.97 kg ha⁻¹. Regarding the response of these genotypes to the environment, it was obtained that RCB 593 and SEF 60 had a better response to the environment with an R² of 0.97 and 0.98.

Keywords: adaptability analysis, technology validation, drought, beans

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de las especies cultivadas desde la más remota antigüedad el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), se ha destacado, en Nicaragua forma parte de la seguridad alimentaria.

“El frijol común es una de las especies cultivadas más importantes. Del género *Phaseolus* se conocen 55 especies, cinco de las cuales han sido domesticadas. Evidencias arqueológicas indican que esta planta ya era conocida hace 7 000 años, México ha sido aceptado como el más probable centro de origen, o al menos, como el centro de domesticación primario. Es la leguminosa más importante para el consumo humano directo a nivel mundial y constituye la mayor fuente de proteínas para los habitantes (Hernández, 2009, p. 11).

“El frijol común es uno de los cultivos más afectados por las variaciones climatológicas; estas variaciones definen la calidad de producción, productividad y cantidad” (Tamayo, Londoño, 2001, p. 7).

“El 60 por ciento de la producción mundial de frijol se obtiene en condiciones de déficit hídrico, por lo que este factor es quien más contribuye en la reducción después de las enfermedades” (Polón, Ruíz, Miranda y Ramírez 2017, p. 66).

“Una gran problemática que afecta hoy en día a la agricultura es que es extremadamente vulnerable a cambios climáticos, los cambios de regímenes de lluvia aumentan las posibilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y reducción de la producción a largo plazo” (Nelson, Rosegrant, Koo, Robertson, Sulser, Zhu, Lee, 2009, p. 3).

“La validación tecnológica puede definirse como una prueba de campo que se realiza en un área o entidad biofísica bajo las condiciones de la unidad de producción, en que se confirma o verifica una opción o una alternativa tecnológica que la experimentación ha demostrado que supera en rendimiento, beneficio económico o aspectos sociales, a la tecnología que usan los productores” (Pedroza, 2007, p. 38).

“El cambio climático trae consigo sequías prolongadas o excesos de lluvia que dificulta, cada vez más, la producción agrícola, a esto se le une el mal uso del suelo que ha dado

como resultado suelos pobres deficientes de nutrientes. Estos eventos crean la necesidad de buscar nuevas alternativas de producción como el uso de variedades mejoradas con mejor potencial de rendimiento en suelos con baja fertilidad y condiciones de sequía” (Camalle, 2013, p. 13).

Las nuevas líneas de frijol, deben presentar tolerancia a sequía y con adaptación al cambio de clima y sistemas de producción de los agricultores, también deben garantizar buenos rendimientos a nivel de finca, el tamaño de grano apropiado y el color requerido. En el plan operativo 2019 del INTA, se ha considerado la conducción de exceso de lluvia validación de tecnologías en parcelas de los materiales SEF 60, RCB 593 con INTA Ferroso, que involucra, variedades precoces de frijol grano rojo que se espera sea material que, además de tener algunas características morfo fisiológicas que le permiten aprovechar mejor el agua, también se ajusten a la demanda del mercado productivo y de consumo.

El presente trabajo tiene como propósito determinar la importancia de validación de nuevas líneas de frijol establecidas en ensayos de diferentes localidades para evaluar su resistencia a cambios climáticos.

II. OBJETIVOS

2.1 General

- ❖ Validar el comportamiento agronómico y rendimiento de los genotipos de frijol rojo SEF 60, RCB 593, provenientes de los ensayos multiambientales 2018 en comparación con el material INTA Ferroso.

2.2. Específicos

- Identificar mediante el análisis de adaptabilidad, las líneas que, por sus características agronómicas y rendimiento pueda ser adoptado por los pequeños y medianos productores en corto y mediano plazo.
- Conocer que línea responde mejor a las condiciones ambientales de la zona de estudio.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Generalidades

3.1.1 Origen

El origen americano del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), se acepta sin el menor asomo de controversia desde finales del siglo XIX. Investigaciones arqueológicas han permitido ubicar restos en diversos sitios de Estados Unidos, México y Perú (Voyses, 2000, p. 9).

Se argumenta que, al principio del siglo XVI, durante la conquista española, fueron los españoles quienes llevaron a Europa las primeras semillas de frijol. 11 años después el producto fue distribuido por comerciantes portugueses en la región de África oriental, a partir de donde los árabes, que mercadeaban con esclavos, se encargaron de diseminarlo a todo el territorio africano (Voyses, 2000, p. 19).

En Nicaragua el frijol se ha cultivado históricamente en función de la dieta alimenticia básica del nicaragüense, constituida por maíz (*Zea mays* L.), frijol y arroz (*Oriza sativa* L.) y se convierte, por lo tanto, en la principal fuente de proteínas. Los países centroamericanos también son consumidores de frijol (Quiroz y Reyes, 2009, p. 5).

3.1.2 Etapas de crecimiento de la planta de frijol

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: fase vegetativa y fase reproductiva.

Fase vegetativa: Esta inicia en el momento en que la semilla dispone de condiciones favorables para germinar y termina cuando aparece los primeros botones florales, comprende la fase de germinación, emergencia y desarrollo (Rivera, Zamora, 2014, p. 15).

Fase reproductiva: Se encuentra comprendida la aparición de los botones florales y la maduración de la cosecha, comprende la fase de floración, formación de vainas y llenado de vainas (Álvarez, 2018, p. 11).

3.1.3 Propiedades nutritivas del frijol

Las características más importantes que destacan el valor nutritivo de las leguminosas en la nutrición humana es que tienen de 2 a 3 veces más proteína que los cereales. Es una fuente de proteína, hierro vegetal, fibra (Ulloa y Ramírez, 2011, p. 6).

3.1.4 Exigencias de clima y suelo del cultivo

Agua: es tan importante que no sorprende que el crecimiento y rendimiento final dependan de su disponibilidad. Hay líneas y variedades que muestran buena tolerancia a deficiencia hídrica dando rendimientos aceptables, esta condición puede estar basada en la mayor capacidad de extracción de agua de capas profundas del suelo (Rivera, Zamora, 2014, p. 13).

Temperatura: la planta de frijol se desarrolla bien en temperaturas promedio de 15 a 27 °C, las que generalmente predominan a elevaciones de 400 a 1 500 msnm. Actualmente se han generado variedades que toleran altas temperaturas y pueden ser cultivadas a menor y mayor elevación (Hernández, 2009, p. 17).

Luminosidad: El papel principal de la luz está en la fotosíntesis, pero también afecta la fenología y morfología de una planta por medio de reacciones de fotoperiodo y elongación (Álvarez, 2018 p. 15).

3.1.5 Plagas y enfermedades asociadas al frijol:

Enfermedades causadas por hongos: Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* Sacc.et Magn.) Roya (*Uromyces appendiculatus* Pers) pudrición radical por Rhizoctonia (*Rhizoctonia solani* Kuhn). Enfermedades causadas por virus: virus del mosaico dorado del frijol, virus mosaico común, virus del mosaico severo del frijol. Enfermedades causadas por bacterias: Bacteriosis común (*Xanthomonas phaseoli* Erw.Smith) Plagas insectiles: gallina ciega (*Phyllophaga* spp), lorito verde (*Empoasca kraemeri* C), barrenador del tallo (*Elasmopalpus lignosellus* C), mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadium), picudo de la vaina (*Apion godmani* Wagner), gorgojo del frijol (*Acanthoselides obtectus* Say). Moluscos: la babosa (*Vaginulus plebeius* Fisher) (Tamayo y Londoño, 2001, p. 22).

3.1.6 Cosecha:

El frijol se debe cosechar cuando las vainas de la parte inferior de la planta están secas, pero sin manchas de hongos y las de la parte superior están maduras. Existen diversos métodos de cosechas, el sistema más utilizado es la cosecha manual, especialmente por tratarse de cultivos en campos de pequeños productores, donde la mano de obra es abundante y de bajo costo. Generalmente las plantas se pueden arrancar y finalizar su secado para hacer la trilla directamente en el campo (Escoto, 2004, p. 29).

En el post cosecha el pre secamiento es el secado del frijol en el campo, esta actividad se realiza cuando el tiempo está seco y consiste en arrancar la panta de frijol cuyo grano tiene un 30 a 50 por ciento de humedad, se juntan unas cuatro a cinco mantas y se dejan los moños en el campo para secamiento. La actividad de pre secado tiene mucho riesgo de pérdida por ocurrencia de lluvias cuando las plantas están en contacto con el suelo (IICA, 2009, p. 21).

3.1.7 Densidad poblacional final

Esta se registró al momento de la cosecha donde se efectuaron conteos de plantas en el área útil de cada tratamiento y se expresaron en miles de plantas por ha - aquí se eliminaron las plantas ubicadas en los bordes, ya que estas tienen la función de servir de barreras contra potenciales enemigos y eliminar efecto de borde.

3.1.8 Peso de 100 granos

Se contaron cuatro muestras de cien granos, se pesaron al 14 por ciento de humedad y se promediaron expresándose en gramos; estas se clasificaron siguiendo las normas internacionales del INTA, la que se describe a continuación:

- 1= Semilla pequeña: Si su peso es menor de 25 g
- 2= Semilla mediana: Si su peso está entre 26 y 40 g
- 3= Semilla Grande: Si su peso es mayor de 41 g

Valor comercial del grano: Para evaluar el valor comercial del grano se utilizó la escala de color (Melgar, 2004, p. 5), la que se detalla a continuación:

Escala 1, 2, 3: Colores rojos claros

Escala 4, 5, 6: Colores rojos de claros a retintos

Escala 7, 8, 9: de retintos a oscuros



Figura 1. Escala para evaluar las variaciones del color del grano de frijol (Melgar, 2004, p. 5).

3.2 Validación de una nueva línea

Es una verificación y confirmación para evaluar que líneas más promisorias presentan adaptabilidad y buen potencial de rendimiento en diferentes condiciones ambientales, pero es necesario saber que algunas de estas líneas presentan mejores resultados en ambientes específicos (Calderón, 2020).

Validar no es nada simple y lleva implícito un enorme esfuerzo de trabajo en equipo, referente a las consideraciones prácticas para establecer el ensayo de validación, ya que sin una adecuada validación, el proceso de transferencia de una línea ocurre empíricamente como prueba y error. Las deficiencias en el proceso de priorización de líneas a validar, explican en gran medida lo ineficiente que ha resultado a la fecha el proceso de adopción de tecnologías, que aunque parecieran estar al alcance de los productores más pobres y aparentemente si les son de utilidad, estos terminan no adoptándolas (Pedroza, 2007, p. 64).

Los tratamientos en el ensayo de validación de nuevas líneas se denominan “alternativas tecnológicas”, constituidas por resultados promisorios obtenidos en la fase de experimentación. El testigo en un ensayo de validación, es uno de los aspectos principales a tomar en cuenta, en general se refiere a la práctica del productor.

PASOLAC, (1995), afirma que “el testigo del agricultor es indispensable en los trabajos de validación ya que representa la práctica verdadera del productor” (Pedroza, 2007, p. 86).

3.2.1 Proceso de validación de una nueva línea

En este proceso primeramente se realiza una evaluación multiambiental de nuevos genotipos de frijol durante 2 ciclos agrícolas, esta experimentación permite identificar y seleccionar las líneas con características agronómicas más sobresalientes y de mayor rendimiento, también permite realizar análisis multiambiental donde identificas cuál de las líneas presento amplia o específica adaptación ambiental.

Luego que se obtienen las dos nuevas mejores líneas producto del trabajo de evaluación sigue el desarrollo de parcelas de validación con las nuevas líneas de frijol comparadas con una variedad testigo universal o local más aceptado por los productores.

Se realiza la siembra en parcelas apareadas y se toman datos más relevantes como es rendimiento y adaptación, con este trabajo se confirma la estabilidad en rendimiento, color de grano, tolerancia a enfermedades, plagas y cambios climáticos.

Esto permite ampliar la validación hasta 60 localidades con 60 productores de diferentes regiones, donde ellos son los principales protagonistas a la par del investigador donde verifican y deciden qué línea es la que mejor comportamiento productivo y agronómico presento durante el proceso de validación.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del estudio

El trabajo de validación se realizó en tres lugares, en la época de primera del ciclo agrícola 2020, en la región III de Nicaragua (Ticuantepé, Managua y Tipitapa).

Cuadro 1. Ubicación de las réplicas de la validación de líneas de frijol en el departamento de Managua. 2020.

| Municipio | Comunidad | Nombre del productor colaborador |
|------------------|---------------------|---|
| Ticuantepé | Pablo Calero | Luis Ortiz |
| Tipitapa | San Jorge | Luis Molina |
| D III | Padre Fabretto | Humberto Lindo |
| Ticuantepé | Leonel Reynosa | Juan Molla |
| D III | San Isidro Labrador | Karen Lindo |

4.2 Descripción de las localidades

Cuadro 2. Descripción de las localidades en la validación de líneas promisorias de frijol, tolerantes a cambios climáticos en región III, primera 2020.

| Municipio | Tipo de suelo | Temperatura | Coordenadas |
|---------------------------|---------------------------|-------------|---|
| Ticuantepe (Pablo Calero) | Franco arenoso | 20° a 33°C | Latitud N 12° 01' 43.33" Longitud W 86° 13' 11.70" |
| Tipitapa (Luis Molina) | Arcilloso-limoso | 24° a 32°C | Latitud N 12° 15' 05.48" Longitud W 86° 6' 19.96" |
| D III (Padre Fabreto) | Franco arcilloso | 24° a 32°C | Latitud N 12° 03' 46.38" Longitud W 86° 17' 3.51" |
| Ticuantepe Reynosa) | (Leonel Franco arenoso | 20° a 33°C | Latitud N 12° 01' 42" Longitud W 86° 13' 13.2" |
| D III (Karen Lindo) | Franco arcilloso | 20° a 33°C | Latitud N 12° 03' 53.44" Longitud W 86° 17' 03.89" |

Tabla realizada con datos del INETER (2020).

El cultivo de frijol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son franco arcilloso y franco arenoso, estos suelos permiten mayor aireación y drenaje, factor importante para un mejor desarrollo radicular y la formación de nódulos. Este cultivo no tolera suelos compactos, poca aireación y acumulación de agua.

El pH (acidez o alcalinidad) óptimo fluctúa entre 6.5 y 7.5; dentro de este límite la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presenta una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera pH hasta de 5.5, aunque debajo de este límite presenta generalmente síntomas de toxicidad de aluminio o manganeso (Álvarez, 2018, p. 16).

4.3 Diseño metodológico

El ensayo de validación se efectuó en parcelas apareadas de 400 m² una parcela por línea a validar, la parcela útil es de 200 m²; se realizó un Análisis de Adaptabilidad y un análisis de estimación de riesgo, evaluándose el comportamiento de los rendimientos en las localidades en estudio.

El ensayo se llevó a cabo en época de primera el día 29 de mayo del año 2020.

4.4 Variables evaluadas

La metodología aplicada en la medición de variables, fue la definida en 1991 por el CIAT en el documento: “Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol”.

El sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol es un sistema para evaluación de germoplasma de frijol en campo. El programa de frijol del centro internacional de agricultura tropical (CIAT) emplea este sistema en Colombia y en muchos países de América Latina, de África y de otras regiones, para clasificar el germoplasma en categorías útiles y prácticas (CIAT, 1991, p. 5).

Evaluación de adaptabilidad vegetativa

Debe hacerse cuando las plantas alcancen su máximo desarrollo, por lo general en R5, y teniendo en cuenta el efecto que ejerce el hábito de crecimiento en el vigor de la planta.

Escala: 1. Excelente 3. Buena 5. Intermedio 7. Pobre 9. Muy pobre

Evaluación de adaptabilidad reproductiva

Debe hacerse cuando la planta se encuentre en la fase reproductiva R9. Las características que se deben considerar incluyen: número de vainas, forma de la vaina, número de semillas por vaina y tamaño de la semilla.

Escala: 1. Excelente 3. Buena 5. Intermedia 7. Pobre 9. Muy pobre (CIAT, 1987, p. 14).

Peso de 100 semillas

Se realizó con la prueba de SFD Fisher 0.05 que es una prueba de significación estadística que se emplea cuando las muestras son pequeñas, es una clase de prueba exacta llamada así porque el significado de la desviación de la hipótesis nula puede calcularse con exactitud en lugar de basarse en una aproximación.

El porcentaje de humedad se midió con un valiometro.

Índice ambiental

Para calcular el índice ambiental se aplicó paso a paso la metodología descrita por Hildebrand y Russell, (1996) ubicando los datos de rendimientos obtenidos por cada líneas en las diferentes localidades para construir la base de datos. Se calculó el índice ambiental y los promedios en SPSS que es un Software utilizado para realizar capturas y análisis de datos, crear gráficas y tablas y una amplia gama de análisis estadísticos.

Dispersión y líneas de tendencia

Este análisis es muy importante ya que si se ignora la naturaleza de la relación se puede llegar a una conclusión errónea. Para realizar este análisis que no es más que un complemento del análisis del índice ambiental, la gráfica se solicita en SPSS (un datos a la vez). Primero se recomienda visualizar el grafico de dispersión para ver la tendencia de respuestas, luego se solicita en el SPSS, las líneas de mejor ajuste. Mediante las líneas de regresión de mejor ajuste, se muestra la tendencia de rendimiento atreves de los diferentes ambientes

Calculo de riesgo

El análisis de riegos es un paso importante del análisis de adaptabilidad. El análisis de cálculo de riesgo aporta evidencia sobre la factibilidad económica de las opciones que se están evaluando

Hábitos de crecimiento y desarrollo

Se identifica hábito de crecimiento determinado o tipo Ia, conocido como matón, en este la planta deja de crecer cuando desarrolla su inflorescencia y hábito de crecimiento indeterminado en el cual se identifican tipo IIa, IIb, III y IV o conocido como bejuco, alcanzando estos, más altura que los anteriores (Álvarez, 2018, p. 13).

Se han definido cuatro tipos de hábitos de crecimiento (Fig.2) con base a las características.

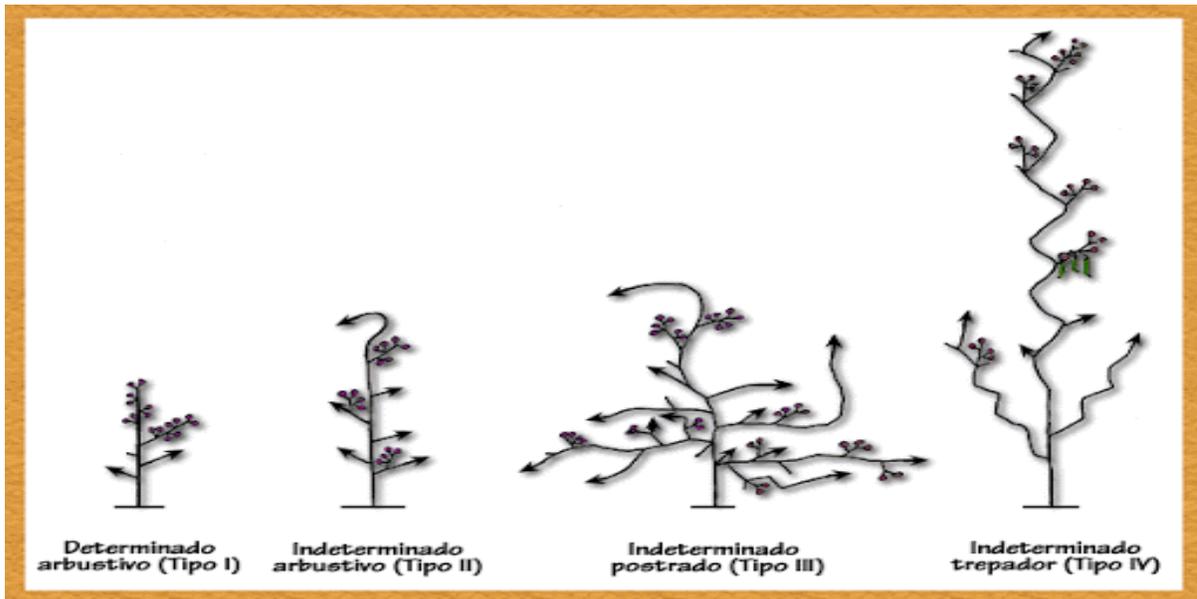


Figura 2. Hábitos de crecimientos del cultivo de frijol (Álvarez, 2018, p. 14).

Adaptación vegetativa (Vigor): Esta evaluación se registró cuando las plantas alcanzaron su máximo desarrollo, por lo general en la etapa fenológica R5 y teniendo en cuenta el efecto que ejerce el hábito de crecimiento en el vigor de la planta; para dicha evaluación se utilizó la siguiente escala:

1. Excelente 3. Buena 5. Intermedia 7. Pobre 9. Muy pobre (CIAT, 1987, p. 14).

Plantas cosechadas

El número de plantas cosechadas está directamente relacionado con la emergencia, el manejo agronómico, las condiciones ambientales existentes y la competencia entre los individuos, todos estos factores en conjunto hacen que el número de plantas cosechadas varíen en relación a la cantidad de semilla que se sembró (CIAT, 1987).

Rendimiento: Se cosecharon cada tratamiento y se expresó en kg. ha^{-1} al 14 por ciento de humedad.

Adaptabilidad

El Análisis de Adaptabilidad, es un procedimiento para el diseño, análisis, e interpretación de ensayos realizados a nivel de finca que tengan el objetivo de evaluar nuevas tecnologías y difundir las recomendaciones resultantes (Pedroza, 2007, p. 84).

Para realizar este análisis aplicamos paso a paso la metodología descrita por Hildebrand & Russell (1996), utilizando el SPSS en los casos pertinentes de cada uno de los siete pasos que los construyen.

Paso 1: cálculo del índice ambiental, IA.

Paso 2: relacionar la respuesta del tratamiento al ambiente.

Paso 3: evaluar la interacción entre los tratamientos y el ambiente mediante la comparación y la respuesta de todos los tratamientos con el IA.

Paso 4: caracterizar los ambientes.

Paso 5: interpretar los resultados y definir los dominios de recomendación.

Paso 6: repetir los pasos 2-5 usando criterios de evaluación alternativos y comparar los resultados.

Paso 7: crear recomendaciones de extensión para cada dominio de recomendación y formular mensajes apropiados para cada dominio de difusión.

Cálculo del Índice ambiental

Es un cálculo para generar un rango de comparación entre los distintos ambientes. Esto permite describir el rango del rendimiento entre ambientes óptimos o ambientes poco favorables, podemos decir que el análisis generará una media entre el rendimiento de cada material en sus distintos ambientes trabajados lo que permitirá diferenciar ambientes entre óptimos o poco favorables para estos materiales según el valor medio obtenido (Pedroza, 2007, p. 90).

Cálculo de riesgo

Este aporta evidencia sobre la factibilidad económica de las opciones tecnológicas que se están evaluando, en las condiciones reales de los productores, dando una idea clara de los beneficios directos que tendrían los usuarios de cada tecnología medidos en unidades monetarias o tiempo (Pedroza, 2007, p. 101).

Hildebrand y Bastidas, (2002) definen riesgo como:

“La probabilidad (0 porcentaje de tiempo) que el criterio de evaluación seleccionado, por ejemplo $t ha^{-1}$, caerá por debajo de cierto nivel. La probabilidad de encontrar valores bajos en los criterios seleccionados para cualquiera de las tecnologías evaluadas se puede estimar por medio de una distribución de intervalos de confianza. Este análisis debe incluir solamente los resultados de los ambientes que se encuentra dentro del dominio de recomendación tentativo”.

Este análisis debe de incluir solamente los resultados de los ambientes que se encuentran dentro del dominio de recomendación tentativo, las formulas son:

$$\bar{x} \pm (t_{\alpha} * S / \sqrt{n}) \text{ (Formula 1)}$$

$$\bar{x} - (t_{\alpha} * S / \sqrt{n}) \text{ (Formula 2)}$$

Con los datos obtenidos se muestran gráficamente los niveles de riesgo para las líneas en estudio

4.5 Mejora genética del cultivo de frijol

Para el caso del mejoramiento genético, su principal objetivo es el rendimiento final del cultivo, lo que simplifica o ignora muchos de los procesos fisiológicos de la adaptación a la sequía (Acosta, Padilla, Goytia, Rosales y López, 2000, p. 23).

Los programas de mejoramiento genético encargados de mejorar la resistencia a cambios climáticos, generalmente seleccionan los mejores genotipos basándose en el rendimiento bajo condiciones de estrés por sequía (Rosales, Ocampo, Rodríguez, Olvera, Acosta y Covarrubias 2012, p. 17).

El frijol no es reconocido como una especie resistente a sequía, sin embargo, posee características que confieren escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación, siendo necesario identificar y utilizar dichas características en un programa de mejoramiento genético (FAO, 2010, p. 22).

La sequía es una limitante mundial para la producción de frijol y se acentuará por efecto del cambio climático. Los rendimientos del frijol se ven afectados por varias causas, entre las cuales la sequía puede generar pérdidas entre el 10 y 100 por ciento (Gutiérrez, 2014, p. 24).

4.6 Líneas de frijol

La línea INTA Ferroso proviene del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), es una línea liberada en el país, mientras que SEF 60 Y RCB 593 son materiales promisorios provenientes del CIAT Colombia, desde el 2020, RCB 593 ya es una línea liberada. Fueron materiales seleccionados por presentar características agronómicas muy deseables para una óptima producción, como lo son: alto rendimiento, tolerancia a sequía, mayor contenido de hierro, zinc y color de grano. En el Cuadro 1 se presenta la información sobre las líneas, origen, morfología, características y rendimiento de cada una de las líneas estudiadas (INTA, 2013, p. 14).

Cuadro 3. Líneas, origen, morfología, características y rendimiento del frijol utilizado en la validación de líneas promisorias, tolerantes a cambios climáticos en región III, primera 2020.

| Líneas | Pedigrí y origen | Morfología | Características | Rendimiento |
|---------------|---|---|---|--|
| RCB 593 | (NCB 228 x RCB 224) F ₁ x SXB 244 Colombia CIAT(P.9) | Habito de crecimiento 2 b (indeterminado arbustivo) (p.9) | Grano de color rojo, de tamaño de grano es mediano (p.4) | 1 273 a 1 500 kg.ha ⁻¹ (p.19) |
| SEF 60 | Generada mediante el cruzamiento (ALB 74*INB 841) F ₁ * RCB 593. | Habito de crecimiento 2b (indeterminado arbustivo) | Grano de color rojo claro brillante, tamaño del grano mediano. (p.52) | 1 461 kg.ha ⁻¹ (p.46) |
| INTA Ferroso | Desarrollado por el INTA mediante selección de líneas promisoras del CIAT | Arbustivo con guías cortas | Color del grano rojo claro. Peso de 100 semillas entre 24 a 26 g | 1 000 a 1500 kg.ha ⁻¹ |

Nota: Tabla preparada por el autor con datos de Chaves (2015).

El uso de las variedades mejoradas incrementa los rendimientos y ayuda a reducir las pérdidas, debidas a daños causados por la alta incidencia de enfermedades y plagas, los efectos de falta o exceso de lluvia, y las condiciones marginales de los suelos, el uso de estos materiales en zonas bajas e intermedias es recomendable por las siguientes ventajas:

La resistencia genética y la buena arquitectura de la planta ayudan a reducir los efectos de la incidencia y daños de las enfermedades causadas por bacterias, hongos y virus. La buena adaptación, excelentes rendimientos y valor comercial de granos de estas variedades, la arquitectura erecta y guía corta facilitan además las labores de deshierbo y control químico de malezas, el control de plagas y el arranque de las plantas durante la cosecha. La madurez fisiológica uniforme facilita el arranque y aporreo, con la mayoría de vainas maduras y secas a la cosecha. El mayor valor nutricional por su contenido de hierro y zinc en las nuevas variedades generadas, puede contribuir a mejorar la calidad nutricional de las personas (Acuña, Archila, Bustos, Contreras, Fajardo, Forero, 2002, p. 16).

4.7 Recolección de datos: Los datos se tomaron a los 25 días después de la siembra, luego al momento de la floración y la última de adaptación reproductiva a los 50 días después de la floración.

Después de la cosecha se llevó a cabo la colecta de vainas en 10 plantas al azar, el conteo y pesado de 100 granos.

4.8 Plantas cosechadas: El número de plantas cosechadas está directamente relacionado con la emergencia, el manejo agronómico, las condiciones ambientales existentes y la competencia entre los individuos, todos estos factores en conjunto hacen que el número de plantas cosechadas varíen en relación a la cantidad de semilla que se sembró (Sánchez, 2015, p. 13).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variables de crecimiento y desarrollo

Generalmente cuando hablamos de crecimiento nos referimos al cambio en volumen o peso, características que pueden ser medidas en algunos parámetros como ancho, longitud, números de nudos entre otros. El desarrollo es cualitativo pues son procesos de diferenciación o cambios estructurales y fisiológicos como la aparición de botones florares o racimos esto nos indica el cambio de fase vegetativa a fase reproductiva del frijol (Fernández, 2010, p. 61).

5.1.1 Hábito de crecimiento, evaluación de adaptación vegetativa y adaptación reproductiva

En referencia a los hábitos de crecimiento de los materiales adaptados a cambio climático prevaleciendo el crecimiento indeterminado arbustivo “II b”. En los valores de la escala de la adaptación vegetativa y adaptación reproductiva (CIAT, 1987, p. 13), esta herramienta es una herramienta practica para la validación de tecnologías, las cuales ya han pasado por distintos procesos de descripción varietal y estudio agronómico, alcanzan el valor más alto los materiales RCB 593 y SEF 60 de igual manera con segunda categoría de apreciación el material INTA Ferroso. Esto se aprecia en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Hábito de crecimiento, evaluación de adaptación vegetativa y adaptación reproductiva de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos en la región III, época primera 2020.

| Hábito de Crec. | RCB 593 | | SEF 60 | | INTA Ferroso | |
|-----------------|---------|-----|--------|-----|--------------|-----|
| | I a | | II b | | II b | |
| Localidad | ADV | ADR | ADV | ADR | ADV | ADR |
| Ticuanatepe | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| Tipitapa | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Ticuanatepe 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| D III | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| D III 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 |

Nota: ADV: adaptación vegetativa ADR adaptación reproductiva D: Distrito, IIa indeterminado arbustivo sin guía, IIb indeterminado arbustivo con habilidad para trepar.

Hábitos de crecimiento: II a = sin guías. II b = con guía y habilidad para trepar (CIAT, 1987, p. 13).

La escala de Evaluación Reproductiva: 1 Excelente, 3 Buena, 5 Intermedio, 7 Pobre, 9 Muy pobre.

En adaptabilidad vegetativa el material SEF 60 obtuvo los mejores resultados en comparación a las otras líneas en adaptabilidad reproductiva el mejor comportamiento fue de RCB593 obteniendo mejores resultados en comparación con las otras líneas, siendo el cultivo testigo INTA Ferroso el que presento capacidad intermedia de reproducción en la zona de Ticuantepe y los valores mínimos para considerarse resistentes. La escala de evaluación para describir el hábito de crecimiento es la II. Hábito arbustivo indeterminado, con tallo y ramas erectos.

La línea INTA Ferroso indica un mayor hábito de crecimiento arbustivo indeterminado con guías más o menos largas (II b), esta variedad refleja que tiene buena arquitectura con tipo de planta erecta donde las vainas y hojas no entran en contacto con un tipo de planta postrado. Las plantas erectas producen el 40 por ciento más que las plantas acamadas según (Masaya, 1991, p. 24).

Al usar esta herramienta comparativa CIAT 1987, según la experiencia del investigador permite agrupar factores como tiempo de floración, vainas, frutos por vainas, para describir esta variable de adaptación reproductiva en un solo rango, (esto sucede igual en la metodología de índice ambiental que será explicada más adelante), en el estudio de describir o estudiar materiales genéticos se pueden utilizar otras metodologías de campo pero para estudios de validación de tecnologías estas metodologías siguen siendo aplicadas, ya que permiten tener datos concretos sobre el rendimiento, se trabaja con variedades genéticamente estables en donde la descripción varietal y variación fenotípica ya ha sido estudiada, además que para liberar una línea en un país se necesitan gran cantidad de datos en distintos ambientes, ya que una línea a validarse no solo deberá funcionar solo para una región o municipio.

En donde varios parámetros que se desconocen o no se miden (variables climáticas, efecto ambiente que es determinante en la expresión del potencial genético se describen utilizando un valor medio de los ambientes trabajados y los valores encima son considerados óptimos y

valores debajo son considerados deficientes). Como es el caso del material RCB 593 que ha sido liberado como variedad Agosto, 2020.

5.2 Variables de rendimiento

Es importante conocer los rendimientos promedios de los cultivos, porque de esta forma el productor puede evaluar la eficiencia económica de un sistema de producción (Rojas, 2002, p. 5).

Masaya (1991), indica que:

“El rendimiento de las líneas de frijol no es afectado por el fotoperiodo en variedades de frijol de grano pequeño desde su origen son neutras y no responden a los cambios de luz en los diferentes ciclos del cultivo. Los rendimientos de estas líneas son afectados por selección a la adaptación a sequía, exceso de humedad y temperatura. La pobre adaptación está ligada a bajos rendimiento”.

En este trabajo evaluó 10 familias F₆ de frijol, derivadas de progenitores contrastantes en su respuesta al fotoperiodo y seleccionadas por su alto potencial de rendimiento para conocer la respuesta al fotoperiodo en diferentes ambientes. Obtuvo como resultado que nueve de 10 familias con alto potencial de rendimiento fueron insensibles al fotoperiodo, característica derivada del progenitor Carioca. Los progenitores Pinto Villa y Tlax. 475 fueron sensibles al fotoperiodo. Las familias insensibles al fotoperiodo mostraron mayor estabilidad en los días a floración y rendimiento que las sensibles.

5.2.1 Plantas cosechadas

En el Cuadro 5 podemos observar el número de plantas cosechadas por municipio y por variedades, la línea RCB 593 presenta mayor número de plantas cosechadas en los municipio de Tipitapa, Tipitapa 2 y DIII con un número de plantas que van desde 109 560 hasta 156 604 plantas cosechadas, la variedad SEF 60 alcanzó los mejores rendimientos en la comunidad de Ticuantepe y un número de plantas cosechadas que van desde 107 900 hasta 186 592 plantas cosechadas y la línea INTA ferroso obtuvo el menor número de plantas cosechadas en comparación con las otras líneas con valores que van de 89 640 hasta 153 272 plantas cosechadas.

Cuadro 5. Valores de las variables población final, peso de 100 granos, y rendimiento de materiales adaptados a cambio climático en la región III, época primera 2020.

| Ambiente | Plantas cosechada ; | Peso de 100 granos (g) | Rendimiento kg.ha⁻¹ |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Ticuantepe | | | |
| RCB 593 | 149 940 | 25.81 | 1 119.65 |
| SEF 60 | 186 592 | 24.62 | 1 002.97 |
| INTA Ferroso | 153 272 | 21.05 | 907.51 |
| Tipitapa | | | |
| RCB 593 | 109 560 | 23.1 | 392.64 |
| SEF 60 | 107 900 | 22.93 | 168.47 |
| INTA Ferroso | 89 640 | 19.43 | 112.05 |
| Ticuantepe 2 | | | |
| RCB 593 | 132 800 | 24.46 | 1 145.35 |
| SEF 60 | 122 840 | 22.8 | 983.09 |
| INTA Ferroso | 99 600 | 22.45 | 832.98 |
| D III | | | |
| RCB 593 | 156 604 | 26.47 | 984.32 |
| SEF 60 | 132 800 | 25.38 | 891.56 |
| INTA Ferroso | 99 600 | 23.79 | 584.76 |
| D III 2 | | | |
| RCB 593 | 149 400 | 25.52 | 1 013.81 |
| SEF 60 | 166 000 | 24.2 | 1 102.35 |
| INTA Ferroso | 116 200 | 23.4 | 908.09 |

Nota: INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Los resultados obtenidos en la evaluación de las tres líneas sometidos a diferentes ambientes influyeron significativamente en los valores promedios de todas las líneas estudiadas, con excepción del peso de 100 granos, no hubo diferencia significativa entre las líneas. Las líneas RCB 593 y SEF 60, presentan mayor número de plantas cosechadas en los diferentes ambientes, también presentan un mayor rendimiento de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

los valores promedios de plantas cosechadas, peso de 100 granos y rendimiento de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, dependieron marcadamente del ambiente donde fueron evaluados, en general se observó poca variación entre las líneas RCB 593 Y SEF 60 en el ciclo de primera, ambas líneas fueron más precoces que la variedad testigo INTA Ferroso. En el ambiente de Ticuantepe se apreció poca adaptación de las líneas por el calor y gases del volcán Santiago, lo cual acelera los procesos de floración y prolonga el ciclo del cultivo reduciendo la formación de las vainas.

5.2.2 Peso de 100 granos

El peso de 100 granos de frijol es importante para el reconocimiento de la producción, el cual se debe realizar cuando la semilla se encuentre entre el 12 y el 14 % de humedad, que es la humedad óptima para el almacenamiento. Es un indicador importante para determinar el promedio de rendimiento por línea y estimar dosis de siembra. (Rivera y Zamora, 2014, p. 43).

La Figura 3 representa el peso de 100 granos obteniendo el mayor peso el RCB 593 con (25.07) g. seguido del SEF 60 con (23.99) g, y con un peso menor el INTA Ferroso con (22.02) g.

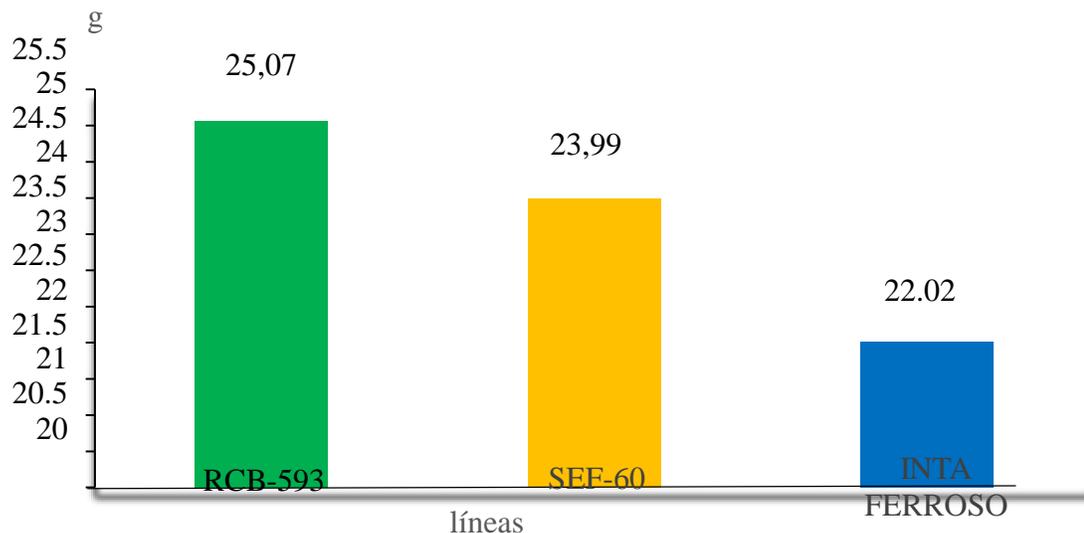


Figura 3. Peso de 100 granos de líneas de frijol y la variedad, adaptados a cambios climáticos en la región III, época primera 2020.

El análisis de SFD Fisher es un prueba de significancia estadístico demuestra que existen diferencias entre las líneas evaluados, con la prueba de SFD Fisher 0.05 agrupa a los tratamientos en 2 categorías, el segundo lugar SEF 60 e INTA Ferroso con medias de 23.99 g y 22.02 g, siendo en la primera categoría RCB 593 con 25.07 g.

El mayor peso de 100 granos que presentan las líneas SEF 60 y RCB 593 es por ser líneas que poseen un tamaño mayor al del INTA Ferroso, puesto que tienen cruce con el frijol negro, el cual es más vigoroso que el frijol rojo.

Con respecto al peso del grano en el cultivo de frijol Chaves, Polonia, Muñoz, Rao y Beebe (2018, p. 12), indican que:

“Es afectado por la sequía terminal, pero también es un carácter muy ligado a cada genotipo, por lo que, la forma correcta de interpretar el efecto de estrés sobre este parámetro es a través de su reducción con respecto al ambiente sin estrés”.

Valle (2013, p. 37), establece que generalmente las variedades de frijol rojo mejoradas que se siembran en Nicaragua, el peso de 100 semillas oscila entre 20 y 28 gramos, indicando que las variedades criollas caracterizadas cumplen con los rangos establecidos para esta variable.

5.2.3 Potencial rendimiento en kg ha⁻¹

Es la relación de producción total de un cierto cultivo cosechado por manzana de terreno utilizada, es importante conocer los rendimientos promedios de los cultivos, porque de esta forma el productor puede evaluar la eficiencia de un sistema de producción. (Rivera y Zamora 2014, p. 44).

El conocimiento de los rendimientos kilogramos por hectárea, constituye información básica esencial para el agricultor ya que junto a los índices de naturaleza económica le permite realizar evaluaciones financieras dentro de un periodo determinado (Osuna, Reyes, Padilla, Rosales, Martínez, Acosta y Figueroa, 2013, p. 51).

Según se aprecia en el Cuadro 5. La línea RCB 593 es la que tiene en mayor rendimiento en todas las localidades con datos que van desde 1 145.35 hasta 392.64 kg. ha⁻¹, seguido de la línea SEF 60 que se obtuvieron datos que van de 1 102.32 hasta 168.47 kg. ha⁻¹ y con el menor rendimiento la línea INTA Ferroso 908.08 hasta 112.05 kg. ha⁻¹.

En el Cuadro 6 el análisis de varianza se realizó para la variable de rendimiento refleja diferencias significativas con un R² de 0.9 y coeficiente de variación de 9.48. La prueba de SFD Fisher 0.05 agrupa a los tratamientos en dos categorías estadísticas el segundo lugar lo ocupa INTA Ferroso con 669.08 kg. ha⁻¹, los mejores rendimientos los presento el SEF 60 y RCB 593 con 829.69 y 931.15 kg ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 6. Categorización de medias por la prueba de SFD Fisher 0.05 de materiales de frijol adaptados a cambio climático en la región III, época primera 2020.

| Genotipo | Rendimiento (kg.ha⁻¹) | Ambiente (Fc) | 57.67* |
|-----------------|---|--------------------------|---------------|
| RCB 593 | 931.15 a | Genotipos (Fc) | 14.80* |
| SEF 60 | 829.69 a | R2 | 0.97 |
| INTA Ferroso | 669.08 b | CV | 9.48 |
| | | DMS | 112.022 |
| | | (<i>P</i> >0.05) | |

El primer componente de la interacción resulta estadísticamente significativo, el cual es la línea RCB 593 con $931.15 \text{ kg. ha}^{-1}$, lo que explica la variación observada con el dato de la variedad INTA Ferroso.

En términos generales el rendimiento de grano obtenido en esta validación fue mayor al valor promedio nacional, según MAGFOR (2012), el rendimiento promedio para el año 2011 fue, de 762.72 kg.ha⁻¹, esto en el caso de las líneas RCB 593 Y SEF 60 superan el valor promedio, el INTA Ferroso menor rendimiento al valor promedio.

Estos rendimientos difieren positivamente, a los encontrados en el estudio realizado por Sandoval y López (2001 p. 31). En la ciudad de Estelí, en la que la variedad criolla Honduras 46, obtuvo rendimientos de 650 kg ha⁻¹.

5.3 Adaptabilidad

El análisis de adaptabilidad es un método sencillo, que facilita calcular el índice ambiental a partir de los datos de ensayos de finca, como a una manera de representar a todos los factores que influyen en la respuesta a una tecnología. El grado de sofisticación del cálculo depende de la capacidad del usuario y de la disponibilidad del equipo para el análisis, pero no modificar la naturaleza del análisis, el cual como resultado final da múltiples mensajes de extensión, adaptables a diferentes ambientes y de acuerdo con diferentes criterios de evaluación, afianzados por el técnico o por el productor (Pedroza, 2007, p. 91).

5.3.1 Cálculo del Índice ambiental

A partir de la estimación del rendimiento de granos de frijol se realizó el cálculo del índice ambiental en kg ha⁻¹. El Cuadro 7, muestra el comportamiento de rendimiento de las tres variedades y sus diferentes interacciones con el ambiente o localidades. Claramente se observa que el material SEF 60 Y RCB 593 presentaron un rendimiento promedio superior a la media del índice ambiental con 931.15 kg ha⁻¹ y 829.69 kg ha⁻¹, el cual responde a la adaptación de las líneas a estos ambientes, mientras que INTA Ferroso no logro superar la media del índice ambiental obteniendo promedios menores a 809.67 kg ha⁻¹.

Cuadro 7. Cálculo del índice ambiental sobre el rendimiento potencial de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos, época primera 2020.

| Productor | Comunidad | Municipio | RCB 593 | SEF 60 | INTA Ferroso | IA |
|---------------------|------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------|---------------|
| Juan Molla | Leonel Reynosa | Ticuantepe | 1 119.65 | 1 002.97 | 907.51 | 1010.04 |
| L. Molina | San Jorge | Tipitapa | 392.64 | 168.47 | 112.05 | 224.39 |
| L. Ortiz | Pablo Calero | Ticuantepe 2 | 1 145.35 | 983.09 | 832.98 | 987.14 |
| K. Lindo | San Isidro | D III | 984.32 | 891.56 | 584.76 | 820.21 |
| H. Lindo | Padre Fabretto | D III 2 | 1 013.81 | 1 102.35 | 908.09 | 1008.08 |
| Media | | | 931.15 | 829.69 | 669.08 | 809.97 |
| Desviación Estándar | | | 308.65 | 377.14 | 338.46 | 336.78 |
| Max | | | 1 145.35 | 1 102.35 | 908.09 | 1010.04 |
| Min | | | 392.64 | 168.47 | 112.05 | 224.39 |

Nota: INTA: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

En el Cuadro 7. Se puede apreciar que el rendimiento de la primera variedad RCB 593, osciló entre 1 145.35 y 392.64 kg-ha⁻¹, el SEF 60 obtuvo rendimientos de 1 102.35 a 168.47 kg-ha⁻¹, en cambio el INTA Ferroso obtuvo rendimientos de 908.09 y 112.05 kg-ha⁻¹, el RCB 593 presentó la mayor medida de rendimiento con un valor de 931.15 kg-ha⁻¹, superando en un 28.1 por ciento al INTA Ferroso el cual obtuvo una media de rendimiento de 669.08 kg-ha⁻¹.

Así mismo, en el Cuadro 7 Se observa que los mayores valores del índice ambiental se registraron en la comunidad de Leonel Reynosa con el productor Juan Molla con un índice ambiental de 1 010.04, de igual forma se obtuvieron valores altos del índice ambiental en la comunidad de Padre Fabretto con el productor H. Lindo con 1 008.08 respectivamente. Por el contrario, los menores índices ambientales se registraron en la comunidad de San Jorge con el productor L. Molina con 224.39 respectivamente. En términos generales se obtuvo un índice ambiental promedio de 809.97.

Molina, Cuadra, Guzmán y Duarte (2013), evaluaron el rendimiento de grano de la línea INTA vaina roja en la fase de experimentación, a nivel de pruebas preliminares de rendimiento de 51 líneas F8, se identificaron 34 líneas promisorias con base a su potencial productivo, sobresalieron 11 materiales por su potencial de rendimiento y color de grano, las líneas 429

DFSZ 15095-39 (2 188 kg-ha⁻¹), MIB 438 (2 644 kg-ha⁻¹), 426 DFSZ 15094-39 (2 182 kg-ha⁻¹), e INTA vaina roja (2 013 kg-ha⁻¹), dieron los más altos rendimientos, de los cuales se destaca la línea INTA vaina roja por su mejor color de grano y rendimiento.

Podemos decir que el análisis generará una media entre el rendimiento de cada material en sus distintos ambientes trabajados lo que permitirá diferenciar ambientes entre óptimos o poco favorables para estos materiales según el valor medio obtenido.

Un índice ambiental alto nos indica que el material tiene una óptima respuesta de rendimiento en distintos ambientes, en la validación de materiales se utilizó cientos de datos de diferentes ambientes y ciclos para tener mayor confianza, siendo este trabajo un aporte a esta liberación que llevo casi dos años.

5.3.2 Dispersión y líneas de tendencias

El análisis de dispersión y líneas de tendencia con regresiones ajustadas permiten inferir que el material RCB 593 presento un comportamiento estable en relación con los ambientes donde fue evaluados, (Figura 4), observándose que el valor de R2 fue de 97 por ciento, lo que explica que su adaptación y estabilidad probablemente este influenciada por su consistencia genética. En la Figura 4 se observan los cambios de rendimiento sobre el índice ambiental. Se registra mayor rendimiento en la variedad RCB 593.

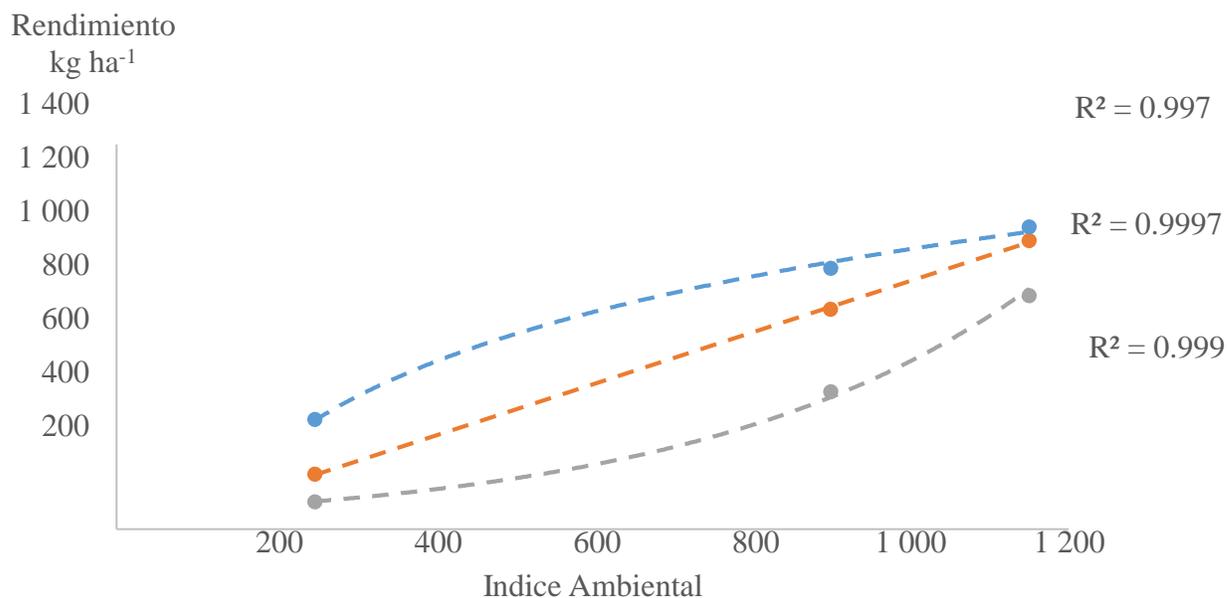


Figura 4. Dispersión y líneas de tendencias de materiales de frijol resistentes a cambios climáticos en la región III, época de primera 2020.

Nota: INTA: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

El material SEF 60 presento un R2 de 0.98 e INTA Ferroso presento un comportamiento distinto en el análisis de dispersión con un R2 de 98 por ciento, obteniendo una buena estabilidad si se consideran todos los factores adversos a los que fueron sometidos. Uno de los ambientes (Tipitapa) se caracterizó por ser muy desfavorable lo que se manifiesta en el rango de variabilidad del comportamiento de los materiales a diferencia de los ambientes favorables a los que fueron expuestos.

5.3.3 Calculo de riesgo

Considerando que los mejores ambientes pertenecen a aquellos en los cuales, las líneas presentaron un buen comportamiento productivo basándose en su estabilidad genética y no así en su interacción con el ambiente, se hace necesario saber que o cuales líneas se deben de recomendar a los agricultores con mejor y mayor precisión de tal manera que les permita mayor confianza de adoptar la mejor tecnología para el desarrollo económico, social y nutricional de su familia.

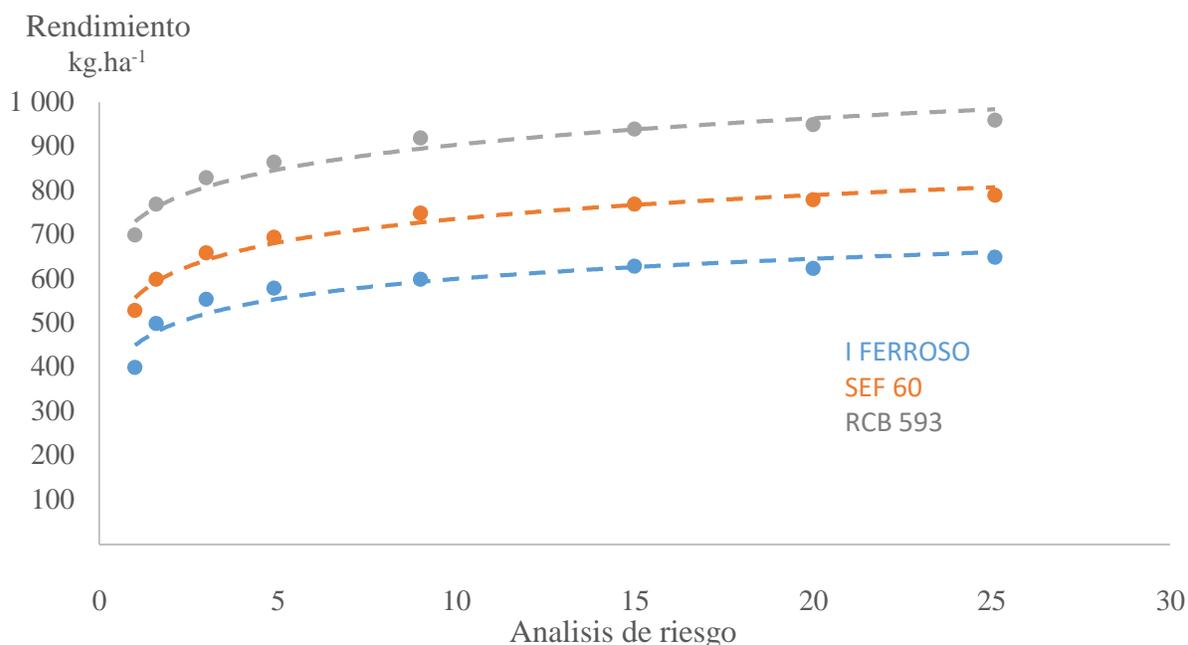


Figura 5. Estimación del riesgo de materiales de frijol adaptados a cambios climáticos, en la región III, época de primera 2020.

En este contexto se presenta en la Figura 3, la estimación de riesgo para los materiales promisorios de frijol, en donde se observa que con un nivel de riesgo de 10 por ciento, el material RCB 593 le asegura al agricultor una producción de 882.54 kg ha⁻¹, el material SEF 60 con este mismo nivel de riesgo le asegura 770.41 kg ha⁻¹ y con el testigo (INTA Ferroso) se obtienen una producción de 625.88 kg ha⁻¹; Por lo que los materiales RCB 593 Y SEF 60 poseen un mejor comportamiento en comparación al testigo.

El riesgo en este estudio se entiende como la probabilidad de error en esta estimación del 5 o hasta 25 %, en otras palabras, sería decir un 95 % probable a obtener un rendimiento con un error del 5 % o con un 75 % de probabilidad de obtener este rendimiento con un 25 % al riesgo

o error. Por lo general hay ligera variación en estos datos. Entre más datos se tengan hay más variación en esta Tabla. Para esta investigación en este municipio es satisfactoria.

VI. CONCLUSIONES

La línea RCB 593 y SEF 60 fueron los que mejor se comportaron agronómicamente tanto en ambientes favorables como en ambientes poco favorables. Presentando mayor estabilidad que los demás tratamientos, a pesar de la tardía madurez del material SEF 60, la producción fue satisfactoria.

Con respecto a los aspectos de rendimiento los mejores líneas de frijol en el proceso de validación son RCB 593 e SEF 60, con rendimientos promedios de 931.15 kg ha⁻¹ y 829.69 kg ha⁻¹ respectivamente.

La línea RCB 593 fue la más aceptada por parte de los productores participantes en las pruebas sensoriales., realizadas en los días de campo y demostraciones prácticas.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar otra validación, pero en la época de postrera, con el objetivo de realizar un dominio de recomendación más amplio.
- Se recomienda la producción y liberación de la línea RCB 593 bajo las condiciones agroclimáticas del departamento de Managua.

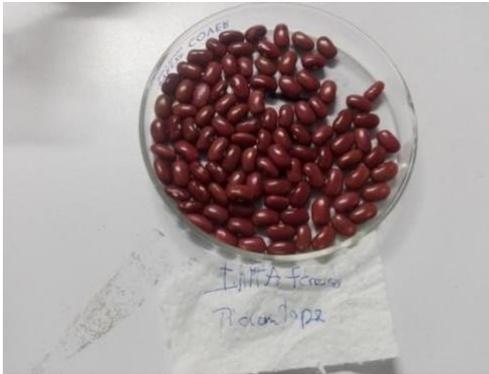
VIII. LITERATURA CITADA

- Acuña, H., Archila, O. M., Bustos, O. E., Contreras, L., Fajardo, G., y Forero, A. E. (2002). Manual Agropecuario: tecnologías orgánicas de la graja integral autosuficiente. Bogotá, Colombia: IBALPE.
- Acosta, J., Acosta, E., Padilla, S., Goytia, M., Rosales, R., López, E., (2000). Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. *Agronomía Mesoamericana*.
- Álvarez, E. (2018). Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía técnica, Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal. 37 pp.
- Calderón, (2020). Validación de líneas promisorias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía técnica. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua.
- Camalle, C. (2013). Caracterización de la tolerancia a sequía y baja fertilidad de genotipos de frijol, (Tesis de pregrado).
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1987). Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Aart van Schoonhoven y Marcial A. Pastor-Corrales (comps.). Cali, Colombia. 56 pp.
- CIAT. (Centro internacional de agricultura tropical). (1991). Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. Cali: CIAT.
- Chaves Barrente, N, F., Polonia, J, A., Muñoz Perea, C. G., Rao, I. M., Beebe, S. E. (2018). Caracterización fenotípica por resistencia a sequia terminal de germoplasma de frijol común. *Agronomía Mesoamericana*. 29 (1).
- Cháves, B, (2015). Uso de recombinante de (*Phaseolus vulgaris* L.); *P. coccineus* L. y *P. acutifolius* A. Gray para mejorar la tolerancia de frijol común a diferentes tipo de estrés abiótico. Cede Palmira Colombia.
- Escoto, G. (2004). El cultivo del frijol. Manual técnico para uso de empresas privadas, consultores individuales y productores. Tegucigalpa D, C, 37 pp.
- Fernández, P. (2010). Etapas y desarrollo de la planta de frijol común. Calí, Colombia: W.K Kellog.
- FAO. (2010). Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile.
- Gutiérrez, B (2014) selección de líneas avanzadas de frijol común con alto contenido de hierro y tolerancia a sequía, proyecto especial de graduación. Escuela agrícola panamericana zamorano Honduras. 24 pp.

- Hernández, F. (2009). Cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Manual de recomendaciones técnicas. San José, Costa Rica.
- IICA. (2009). Innovaciones para mejorar la competitividad de cadena agroindustrial de granos y semillas de frijol de los socios de ASOPROL. Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del departamento de Boaco. Nicaragua. 28 p.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2013). Manual Práctico para el manejo de germoplasma de granos básicos. Managua, Nicaragua. Recuperado el 6 de Marzo del 2020.
- INETER. (2020). Boletín climático de julio del 2020.
- Masaya, P., White, J. (1991). Adaptación a fotoperiodo y temperatura en Shoonhouven y Voyset. Frijoles comunes; investigación para la mejora de cultivos. Londres CAB. Internacional Inglaterra. 445–500 pp.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2012. Informe de producción agropecuaria (abril 2012). Managua, NI.
- Melgar, F. (2004). Desarrollo de una escala colorimétrica digital de triple estímulo para grano de frijol rojo centroamericano. Tesis Ing. Agr., Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 22 p.
- Molina, C., Cuadra, S., Guzmán M., Duarte, N. (2013). Adaptación y rendimiento de la variedad de frijol INTA Vaina Roja, para tolerancia a sequía y macha angular en cuatro regiones de Nicaragua. Revista científica LA CALERA, Managua, Nicaragua, 2013.
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Lee, D. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- Osuna, E., Reyes, L., Padilla, J., Rosales, R., Martínez, M., Acosta, J., Figueroa, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego–sequía en Aguascalientes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícola.
- Pedroza, H. (2007). Enfoque Integrado de investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios, ENFOQUE IESA. Managua, Nicaragua, 2007. 138 pp.
- Polón, R., Ruiz, M., Miranda, A., y Ramírez, M. (2017). Efectos del estrés hídrico sobre el rendimiento de los granos del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 26(1).
- Quiroz, M y Reyes, J (2009). Frijol estudio de la cadena agroindustrial. IICA.

- Rivera, J y Zamora, B. (2014). Caracterización de tres variedades de semillas criollas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), época de primera, en la finca Las Flores, comunidad Samulali, Matagalpa 2013.
- Rojas, C (2002). Producción Agrícola. Producción eficiente, 8 pp.
- Rosales, M., Ocampo, E., Rodríguez, R., Olvera, C., Acosta, J., Covarrubias, A., (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivars unconverted characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiol. Biochem. 56 p.
- Sandoval, J. R, & López, L, E. (2001). Estudio de adopción de las variedades criollas de frijol Estelí. Tesis para optar al grado de Ingeniero, Matagalpa, UNA Managua. Managua.
- Sánchez, I, (2015). Evaluación de quince genotipos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), en el plan, San Isidro Matagalpa, Primera 2013. UNA. Managua, NI, 28 pp.
- Tamayo, M y Londoño, Z (2001) Manejo integrado de plagas y enfermedades del frijol: Manual de campo para su reconocimiento de control. CORPOICA, Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia 2001. 79 pp.
- Ulloa, M. Ramírez, R. Ulloa, R. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos.
- Valle, O, (2013). Efecto de la fertilización orgánica y sintética sobre el rendimiento de grano de tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), El rincón, Darío–Matagalpa, Primera, 2010. Tesis de grado. 66 pp.
- Voisest, O. (2000). Clasificación practica de las variedades de frijol. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), legado de variedades de América, 195 pp.

IX. ANEXOS



Anexo 1. Granos de frijol INTA Ferroso



Anexo 2. Parcela de frijol RCB 593



Anexo 3. Parcela de frijol INTA Ferroso



Anexo 4. Vainas de frijol INTA Ferroso



Anexo 5. Parcela de frijol SEF 60



Anexo 6. Vainas de frijol SEF 60



Anexo 7. Vainas de frijol INTA Ferroso



Anexo 8. Secado de vainas de frijol INTA F

Anexo 9. Diseño del estudio de parcelas apareadas.

Parcela total= 20 x 20= 400 m

