


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA



PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. ICTA CHORTÍ^{ACM}, CON EL NIVEL 50-60-100
Kg Ha⁻¹ DE NH₄-P₂O₅-K₂O, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA

DIEGO ESTEBAN CASASOLA OJEDA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, MARZO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. ICTA CHORTÍ^{ACM}, CON EL NIVEL 50-60-100
Kg Ha⁻¹ DE NH₄-P₂O₅-K₂O, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

DIEGO ESTEBAN CASASOLA OJEDA

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, MARZO 2021

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA**



**RECTOR EN FUNCIONES
Dr. GUSTAVO ENRIQUE TARACENA GIL**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	PEM. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	M.Sc. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	Ph.D. Rodolfo Augusto Chicas Soto

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Secretario:	Ing. Agr. Edgar Antonio García Zecéña
Vocal:	M.Sc. Ricardo Otoniel Suchini Paiz

TERNA EVALUADORA

Ing. Agr. Servio Darío Villeda Morataya
Ing. Agr. Edgar Antonio García Zeceña
Ing. Agr. José Ángel Urzúa Duarte

Chiquimula, marzo 2021

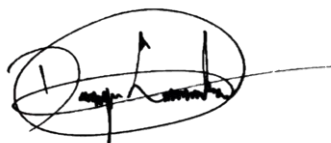
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Chiquimula

Honorables miembros

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado: **“PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. ICTA CHORTÍ^{ACM}, CON EL NIVEL 50-60-100 Kg Ha⁻¹ DE NH₄-P₂O₅-K₂O, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA.”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el grado académico de licenciado.

En espera que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente



Diego Esteban Casasola Ojeda

Carné: 201441306

REF-HRVV-18-2020
Chiquimula, noviembre de 2020

Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy
Cordón Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Ingeniero Coy:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación - PTG- de la Carrera de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, para asesorar al estudiante, Diego Esteban Casasola Ojeda carné: 201441306, en el trabajo de investigación denominado: **“PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. ICTA CHORTÍ^{ACM}, CON EL NIVEL 50-60-100 Kg Ha⁻¹ DE NH₄-P₂O₅-K₂O, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA”**.

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo. En mi opinión, el documento presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el Grado Académico de Licenciado.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Hugo Ronaldo Villafuerte
Villeda Asesor Principal



cc. Archivo

D-TG-A-021/2021

EL INFRASCrito DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó el estudiante **DIEGO ESTEBAN CASASOLA OJEDA** titulado **“PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. ICTA CHORTÍ ^{ACM}, CON EL NIVEL 50-60-100 Kg Ha⁻¹ DE NH₄-P₂O₅-K₂O, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA”**, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera Agronomía. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como Trabajo de Graduación a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a cuatro de marzo de dos mil veintiuno.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón
DIRECTOR
CUNORI - USAC

ACTO QUE DEDICO

A DIOS: por todas las bendiciones que día a día derrama sobre mi vida, por darme la oportunidad de seguir viviendo y por la sabiduría que me dio para cumplir ésta meta.

A MIS PADRES: *Manuel y María.* Por darme la vida, por ser mi pilar de apoyo y tener su confianza puesta en mí, por su lucha incansable y el sacrificio que hicieron para darnos mejores oportunidades a mí y mis hermanos, ya que sin su ayuda y soporte no hubiera sido posible llegar hasta éste punto de mi vida.

A MIS HERMANOS: *Joan y Cecilia.* Por darme un buen ejemplo a seguir y siempre estar para mí cuando acudí a ustedes por ayuda, demostrándome que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A MI ABUELA: *Mamatina.* Gracias por siempre velar por mi bienestar y cuidar de mí, con tus oraciones y tus sabias palabras que me ayudaron a seguir un buen camino. Por todas aquellas cosas que día a día luchaste para ayudarme a superar los obstáculos motivándome a salir adelante, siendo un pilar de apoyo importante en mi vida y en la de mis hermanos.

A MIS TÍAS: por su aporte en el transcurso de estos años de mi vida, en especial a mi tía Astrid, por mantenerse cerca de mí y de mis hermanos brindándonos su apoyo.

A MIS COMPAÑEROS: gracias por compartir conmigo su cariño, por luchar juntos en estos años de estudio para poder culminar la carrera y todas las experiencias vividas.

A MI NOVIA: *Vanessa.* Por tu amor compartido y acompañarme en esta fase de mi vida, por siempre estar ahí para mí cuando te necesité y por motivarme salir adelante con mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE “USAC-CUNORI”

A LA CARRERA DE AGRONOMÍA

AL INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y REPRESENTANTES DEL PROGRAMA REGIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA “IICA-CRIA”: por incluirme en su lista de investigadores y darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación con el apoyo de su organización.

A MIS ASESORES DE TESIS: *M.Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda, Ing. Agr. Hugo Alejandro Villafuerte Lemus e Ing. Agr. Wilmer Alexander Barillas Morales*, por guiarme y apoyarme en la realización de éste trabajo de graduación.

A LOS DOCENTES DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA: por el fraternal aprecio mostrado y por las enseñanzas transmitidas en todas las asignaciones de mis años de estudio. Con agradecimiento especial a *M.Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda y M.Sc. Godofredo Ayala Ruiz* por la confianza colocada en mi e instruirme para culminar mi carrera universitaria.

A: todas aquellas personas que me apoyaron en algún momento de mis estudios y formaron parte de mi vida estudiantil. En especial a *Sonia*, secretaria de la carrera de Agronomía por su guía y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

	CONTENIDO	PÁGINA
1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	MARCO CONCEPTUAL	4
2.1	Antecedentes	4
2.2	Definición y delimitación del problema	5
2.3	Justificación	6
3.	MARCO TEÓRICO	8
3.1	Origen	8
3.2	La producción de frijol en Guatemala	8
3.3	Aspectos generales de la planta	9
3.3.1	Taxonomía	9
3.3.2	Requerimientos edafoclimáticos	9
3.3.3	Morfología	11
3.3.4	Características generales del desarrollo de la planta de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.)	15
3.4	Variedad de frijol negro ICTA CHORTÍ ^{ACM}	17
3.5	Nutrición mineral de las plantas	18
3.6	Importancia de los macronutrientes primarios N-P-K	19
3.6.1	Nitrógeno (N)	19
3.6.2	Fósforo (P)	19
3.6.3	Potasio (K)	20
3.7	Importancia de la fertilización en el cultivo de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.)	21
3.8	Valor nutritivo del grano de frijol negro	21
3.9	Validación de tecnología	21
3.10	Validación en parcelas de prueba	24
3.11	Evaluación absoluta	24
4.	MARCO REFERENCIAL	26
4.1	Localidad y época	26
4.2	Características del área	27

4.3	Características del cultivar utilizado	27
5.	MARCO METODOLÓGICO	29
5.1	Objetivos	29
5.1.1	General	29
5.1.2	Específicos	29
5.2	Hipótesis	29
5.3	Métodos utilizados para el desarrollo del trabajo	29
5.4	Metodología del experimento	30
5.4.1	Diseño experimental	30
5.4.2	Tamaño de la unidad experimental	30
5.4.3	Modelo estadístico	30
5.4.4	Variables respuesta	31
5.4.5	Análisis y obtención de los datos	31
5.5	Manejo del experimento	33
5.5.1	Fertilización al suelo	33
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1	Análisis de resultados de la variable de rendimiento del cultivo de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.) en las localidades	37
6.1.1	Análisis estadístico para la prueba de hipótesis	38
6.2	Análisis de resultados de la variable de monto de inversión por compra de fertilizantes	40
6.3	Análisis de resultados de la variable nivel de aceptabilidad de la tecnología validada	43
7.	CONCLUSIONES	46
8.	RECOMENDACIONES	47
9.	REFERENCIAS	48
10.	ANEXOS	53
11.	APENDICES	56

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
1.	Clasificación taxonómica de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.).	9
2.	Rangos de temperatura para el desarrollo del cultivo de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.).	10
3.	Etapas de desarrollo de la planta de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.).	17
4.	Tipos de fertilizantes utilizados en la fertilización del cultivo de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.) en la validación del nivel 50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O.	33
5.	Kilogramos de fertilizante utilizados en la producción de una hectárea de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.) y balance del aporte nutricional de cada fórmula de fertilizante utilizado para alcanzar los niveles de 50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O.	34
6.	Kilogramos de fertilizante utilizados en la producción de una hectárea de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.) y balance del aporte nutricional de la fórmula de fertilizante para alcanzar los niveles de 45-45-45 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O de la fertilización tradicional.	35
7.	Cálculo de la dosis de fertilizante por postura aplicado en la producción de una hectárea de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.) en cada programa de fertilización.	36
8.	Resumen de los rendimientos de granos en kilogramos por hectárea, obtenidos en cada localidad con los programas de fertilización con macronutrientes NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O.	37
9.	Resultados de la prueba t Student para observaciones apareadas, comparando el nivel de fertilización 50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O con el nivel de fertilización 45-45-45 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O.	39

10. Resumen de costos de fertilizantes utilizados en la producción de una hectárea de frijol (*P. vulgaris* L.), con los niveles de fertilización empleados en la validación. 40
11. Resumen de ingresos por venta total de la producción promedio de granos de los niveles de fertilización y costos de la compra de fertilizantes utilizados. 41
12. Resumen de ingresos por venta de la producción de una hectárea de frijol negro (*P. vulgaris* L.) de los rendimientos por localidad de los niveles de fertilización comparados en la validación. 42
13. Formato para tabulación de resultados obtenidos en evaluación absoluta de la tecnología validada. 43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
1.	Ilustración de planta de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).	8
2.	Esquema de los cuatro tipos de hábitos de crecimiento.	12
3.	Escala de desarrollo de una planta de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.).	16
4.	Etapas de desarrollo de frijol (<i>P. vulgaris</i> L.).	16
5.	El proceso de investigación y su relación con la difusión masiva: el modelo clásico, la investigación en finca manejada por los investigadores y la validación de tecnologías en finca.	22
6.	Representación gráfica de la ubicación de las localidades donde se realizó la validación de tecnología.	26
7.	Distribución gráfica de los resultados de la evaluación absoluta del nivel de aceptación del programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O.	44
8.	Distribución gráfica de los resultados de la posibilidad que el productor adopte la tecnología propuesta para implementarlo en los procesos productivos del cultivo de frijol negro (<i>P. vulgaris</i> L.).	45

RESUMEN

La fertilización es una actividad indispensable en la producción agrícola, siendo los fertilizantes uno de los principales insumos, el uso eficiente constituye una importante fuente de ahorro y de reducción de los impactos medioambientales. Por consiguiente, es de vital importancia el desarrollo de investigaciones científicas enfocadas a determinar la cantidad ideal de fertilizante, para los cultivos y suelos de nuestra región.

El objetivo de esta investigación fue validar el nivel de fertilización química 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, en la producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Para alcanzar dicho nivel se realizó una sola fertilización, entre los 10-15 días después de la germinación. La validación se realizó por medio de parcelas de prueba conducidas por el agricultor, éstas fueron ubicadas en 6 municipios del departamento de Chiquimula.

El programa de fertilización en etapa de validación presentó diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los rendimientos, al comparar los resultados con el programa de fertilización tradicional, en todas las localidades superó en rendimiento, con una diferencia promedio de 196.02 Kg Ha⁻¹. Basado en el método de evaluación absoluta, la tecnología validada presentó un nivel de aceptabilidad del 67% de los productores.

Esta tecnología es recomendación general para aportar nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos que presentan deficiencias de estos nutrientes. Se recomienda continuar con esta línea de investigación en la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente (CUNORI), para validar este programa de fertilización en otros cultivares de frijol, utilizados por productores de la región en diferente época.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el cultivo de frijol negro es considerado uno de los granos básicos de mayor importancia tanto económica como nutricional en todos los estratos sociales, forma parte principal de la dieta alimenticia en la mayoría de la población, especialmente en el área rural. Es considerado como uno de los cultivos más producidos de índole comercial y de subsistencia luego del maíz. El frijol negro se cultiva en suelos con propiedades físico-químicas muy variadas, en muchos de ellos las deficiencias nutricionales limitan los rendimientos del cultivo.

Una parte de la producción del cultivo de frijol se encuentra en la región oriente del país, la producción la realizan agricultores tradicionales en diferentes modalidades. Durante los últimos años la producción de frijol en esta región ha sido afectada por una serie de factores, el más relevante es la falta de conocimientos técnicos para la implementación de tecnología agrícola que contribuya a mejorar la productividad mediante la nutrición vegetal del cultivo.

La validación tecnológica en sistemas de producción agrícolas es una etapa del proceso de investigación, en la cual la tecnología probada en fases anteriores se lleva al campo para ser observada y cuantificada en condiciones normales de campo o finca, para demostrar si supera en rendimiento, beneficio económico o aspectos sociales en comparación con la tecnología utilizada tradicionalmente por los agricultores.

En ésta investigación se validó el programa de fertilización con el nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, el cual, se comparó con el programa de fertilización tradicional, puesto que en previas investigaciones presentó mayor rendimiento de grano en el cultivo de frijol negro. En la investigación se apoyó técnicamente al productor y registraron los datos de rendimiento obtenidos para el análisis estadístico de los tratamientos y comparar los resultados obtenidos en las parcelas.

La metodología de validación consistió en el establecimiento de diez parcelas de prueba en 6 municipios del departamento de Chiquimula; en las cuales se validó el programa de

fertilización propuesto y se comparó con el programa de fertilización del productor de la localidad, durante la época de producción de frijol de primera, que se realiza durante los meses de mayo a agosto, en el departamento de Chiquimula.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

De acuerdo con Azcón-Bieto & Talón (2008), en la agricultura, desde hace más de 2000 años se ha conocido que la adición al suelo de elementos minerales en forma cenizas de origen vegetal, sulfato de calcio, así como el efecto tóxico de productos como el cloruro de sodio sobre los cultivos, tienen un efecto importante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

De Saussure (1767-1845), mencionado por Azcón-Bieto & Talón (2008), estudió la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, introduciendo así técnicas y métodos para el análisis de los elementos en las plantas, a él se debe la idea de que algunos elementos minerales, resulten indispensables para completar sus fases de crecimiento y reproducción dando origen al concepto de elemento esencial para el crecimiento de las plantas. En la misma época, S. Sprengel en Alemania, enunció la hipótesis de que un suelo puede ser improductivo desde el punto de vista agrícola por la ausencia exclusiva de un elemento esencial, convirtiéndose en el precursor de la Ley del mínimo, la cual fue anunciada años después por Justus von Liebig (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Durante el año 2014, Ramírez realizó una investigación en la que se evaluaron ocho niveles de fertilización química, en tres cultivares de frijol. Como resultado de esta investigación se identificó un tratamiento que presentó el mejor resultado, siendo el programa de fertilización 100-60-100 Kg/Ha de N-P-K, el cual se realizó en banda, incorporando el fertilizante al suelo, con una profundidad de 5 cm.

En una investigación realizada por Ruano, et al. (2016), en los departamentos de Chiquimula y Zacapa, se evaluó cinco programas de fertilización química con diferentes niveles de N-P-K en tres genotipos de frijol, en la cual se determinó que el programa de fertilización que presentó mejor rendimiento fue el programa con nivel 50-60-100 Kg/Ha de N-P-K. En consecuencia, es el programa que se validó en la presente investigación.

2.2 Definición y delimitación del problema

Los temas relacionados a la nutrición vegetal en la producción del cultivo de frijol en el área rural, han sido poco tratados a nivel local en investigaciones, exceptuando algunos esfuerzos institucionales del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) que han generado propuestas para dar solución a problemáticas relacionadas con el tema. En la región de oriente del país, el cultivo de frijol durante años se ha perfilado como una de las principales actividades de índole comercial y de subsistencia, siendo la segunda de ellas la más común en el área rural.

Atendiendo la problemática de región oriente, uno de los temas importantes es el bajo rendimiento obtenido en la producción del cultivo de frijol, por diversas causas, entre ellas resalta la falta de conocimientos técnicos de los productores acerca de la nutrición mineral del cultivo de frijol negro, tales como, la falta de un programa de aplicación de fertilizantes con niveles de macronutrientes óptimos para el cultivo, lo cual ha sido uno de los precursores de la reducción de los rendimientos potenciales de los genotipos utilizados.

La generación de tecnología agrícola, como un programa de fertilización con macronutrientes primarios ($\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$) que se adapte a las condiciones de campo, en la que los productores realizan sus cultivos, que garanticen la nutrición óptima y oportuna de la planta, toma importancia para fortalecer e impulsar los sistemas productivos al mejorar los rendimientos del cultivo de frijol negro.

Ésta problemática se aborda con el proyecto de validación del programa de fertilización con macronutrientes primarios $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ en nivel 50-60-100 Kg Ha^{-1} en el cultivo de frijol var. ICTA Chortí ^{ACM}, en diez localidades del departamento de Chiquimula, durante la época de siembra denominada frijol de primera, comprendida en el periodo de los meses de mayo-agosto.

2.3 Justificación

Según datos publicados en la encuesta nacional agropecuaria en el año agrícola 2017-2018, la producción de frijol a nivel nacional se obtuvieron rendimientos de 763 Kg Ha⁻¹ equivalente a 11.75 quintales/manzana, siendo un rendimiento relativamente bajo. Considerando la región de oriente, en la cual se incluye al departamento de Chiquimula, éste hace un aporte considerable en la producción de frijol a nivel nacional y ciertos municipios se identifican con el cultivo.

La reducción en los rendimientos del cultivo de frijol, tiene efecto en la disponibilidad del producto en el mercado y el precio de venta, ya que no se cuenta con la cantidad suficiente para suplir la demanda, los ingresos económicos de las familias se reducen, agotan sus reservas de granos y aumenta la vulnerabilidad a la seguridad alimentaria y nutricional en las áreas más sensibles del área rural.

Garantizar la nutrición vegetal con dosis óptimas de macronutrientes primarios (NH₄-P₂O₅-K₂O), en la producción del cultivo de frijol toma importancia ya que es uno de los factores que mayor influencia tiene en la expresión del máximo potencial de rendimiento de los genotipos utilizados para la producción, aspecto en el cual existen ciertas deficiencias en los programas de fertilización implementados por los agricultores.

La fase de validación en el proceso de generación de tecnología constituye una herramienta para validar el efecto y adaptación a las condiciones de campo y manejo del cultivo. El ensayo de validación utiliza prácticas experimentales científicas para determinar las diferencias significativas entre tratamientos y recolectar las evidencias prácticas para despejar la hipótesis planteada.

El programa del Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria (CRIA) en la cadena de investigaciones del cultivo de frijol, con el apoyo de otras instituciones y de la carrera de agronomía del Centro Universitario de Oriente, en el deseo de avanzar en el conocimiento de nuevas técnicas de cultivo y manejo agronómico apoya la validación del efecto en el rendimiento del cultivo de frijol negro, mediante la fertilización mineral con

macronutrientes primarios $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ con nivel de 50-60-100 Kg Ha^{-1} , para poner a disposición del agricultor la información necesaria acerca de la nutrición mineral balanceada del cultivo de frijol.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Origen

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie que tiene al continente americano como su posible centro de origen y domesticación, específicamente en México, Centroamérica y Sudamérica fue donde se encontró la mayor diversificación y donde comenzó su diseminación. Hallazgos arqueológicos en sus posibles centros de origen indican que el frijol era conocido por lo menos hace 5,000 años A.C (Aldana, 2010). En la figura 1, se presenta un ejemplo de la planta de frijol negro común.



Figura 1. Ilustración de planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fuente: tomado de Debouck & Hidalgo (1984), Chiquimula, 2019.

3.2 La producción de frijol en Guatemala

En el territorio nacional, el cultivo de frijol negro tiene lugar en distintas regiones en las cuales se divide el país, variando de una a otra tanto en zonas de vida y por supuesto, en los genotipos utilizados, área de siembra, manejo agronómico y tecnologías de cultivo. En el territorio guatemalteco cuatro regiones son las que sobresalen en la producción del cultivo de frijol, las cuales por orden de importancia son: Región oriental, región altiplano, región norte y la región sur (Villatoro, Castillo & Franco, 2011).

La producción nacional se distribuye en los siguientes departamentos: Petén 27%, Jutiapa 13%, Chiquimula 10%, Santa Rosa 7%, Jalapa 6%, Quiché 5%, Alta Verapaz 5%, Huehuetenango 4%, Guatemala 4%, Chimaltenango 4% y los demás departamentos de la República suman el 15% restante. El 69.3% de la superficie cosechada se concentra en 7 departamentos: Petén 17%, Jutiapa 13.5%, Quiché 9.9%, Chiquimula 8.4%, Huehuetenango 8.1%, Jalapa 6.4% y Santa Rosa 6% (MAGA, 2018).

3.3 Aspectos generales de la planta

3.3.1 Taxonomía

La planta de frijol común pertenece al género *Phaseolus*, por su nombre científico se le conoce como *Phaseolus vulgaris* L., designado por el botánico Linneo en 1753. El género *Phaseolus* pertenece a la familia Fabaceae del orden Fabales. El género incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales la especie *vulgaris* L. es una de las más producidas (Aldana, 2010). En la tabla 1 se presenta la taxonomía de la planta de frijol.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de frijol (*P. vulgaris* L.).

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivision	Embryophyta
Division	Tracheophyta
Subdivision	Espermatofita
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Rosanae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Genero	<i>Phaseolus</i> L.
Especie	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

Fuente: ITIS (2019), Chiquimula, 2019.

3.3.2 Requerimientos edafoclimáticos

La planta de frijol es anual, se cultiva desde el trópico hasta las zonas templadas, aunque es una especie termófila, tiene poca tolerancia a las heladas; dando los mejores rendimientos en climas cálidos, es cultivado para la producción de semillas, las cuales contienen un alto contenido proteico y mineral, su fruto puede ser aprovechado en vaina entera inmadura (ejote) y sus semillas pueden ser consumidas tanto inmaduras como secas (Debouck & Hidalgo, 1984).

El cultivo de frijol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son las medias o moderadamente pesadas, con buena aireación y drenaje, ya que es un cultivo que no tolera suelos compactos, la poca aireación y acumulación de agua. El pH óptimo fluctúa entre 6.5 y 7.5; dentro de este rango la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera pH hasta de 5.5, aunque debajo de éste, presenta generalmente síntomas de toxicidad de aluminio y/o manganeso (Cabrera & Reyes, 2008). Los rangos de temperatura en los que se desarrolla la planta de frijol se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Rangos de temperatura para el desarrollo del cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.).

Temperatura óptima del suelo	15-20 °C
Temperatura ambiente óptima de germinación	20-30 °C
Temperatura mínima de germinación	10 °C
Temperatura óptima durante el día	21-28 °C
Temperatura óptima durante la noche	16-18 °C
Temperatura máxima biológica	35-37 °C
Temperatura mínima biológica	10-14 °C
Temperatura mínima letal	0-2 °C
Temperatura óptima de polinización	15-25 °C

Fuente: FFLUGSA (2019), Chiquimula, 2019.

La planta de frijol se desarrolla bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, las que generalmente predominan a elevaciones de 400 a 1,200 msnm, pero es importante reconocer que existe un gran rango de tolerancia entre diferentes variedades. Cuando la temperatura oscila entre 12-15 °C la vegetación es poco vigorosa y por debajo de 15 °C la mayoría de los frutos quedan en forma de “ganchillo”. Por encima de los 30 °C también aparecen deformaciones en las vainas y se produce el aborto de flores (FFLUGSA, 2019).

3.3.3 Morfología

a. Raíz

Su sistema radicular es por lo general superficial, muy ramificada con desarrollo lateral, el mayor volumen de raíces se concentra en los primeros 20 cm³ del suelo; tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos dependiendo de la variedad y el tipo de suelo, aunque el tipo de raíz pivotante auténtico, se presenta en un bajo porcentaje (Debouck & Hidalgo, 1984).

P. vulgaris L., presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media de sistema radical, estos nódulos tienen forma poliédrica y un diámetro aproximado de 2-5 mm los cuales son colonizados por bacterias del género *Rhizobium*, las cuales tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico el cual contribuye a mejorar los niveles de fertilidad del suelo y a satisfacer cierta parte de los requerimientos de este elemento en la planta (Cabrera, 2008).

b. Tallo

Es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular. Puede ser erecto semipostrado o postrado dependiendo de la variedad; pero en general, el tallo tiende a ser vertical ya sea que la planta crezca sola o con algún soporte. En cuanto a la pilosidad, el tallo puede ser subglabro o pubescente, observables en las partes jóvenes. El tallo empieza en la intersección de las raíces. En orden ascendente, el primer nudo que se encuentra es el de los cotiledones; este se caracteriza por tener dos intersecciones opuestas correspondientes a los cotiledones (Debouck & Hidalgo, 1984).

La primera parte del tallo comprendida entre la intersección de las raíces y el primer nudo, se llama hipocotilo. El hipocotilo tiene una longitud apreciable porque el frijol común es de germinación epigea. En el tallo se encuentran presentan, a nivel de cada nudo otros órganos como las hojas, las ramas, los racimos y las flores (Debouck & Hidalgo, 1984).

- **Hábito de crecimiento del tallo**

Según Debouck & Hidalgo (1984), la planta de frijol tiene varios hábitos de crecimiento los cuales pueden identificarse según la ubicación de la inflorescencia en el tallo principal. Las variedades de frijol en las cuales la inflorescencia se desarrolla al final del tallo principal y de las ramas son llamadas determinadas o arbustivo (tipo I), cuando esta inflorescencia está formada, el crecimiento del tallo y de las ramas general mente se detiene, dicha característica determina el desarrollo de la planta.

Las variedades que desarrollan inflorescencias axiales y un ápice meristemático terminal son llamadas indeterminadas (tipo II, III, IV), el crecimiento del tallo puede extenderse hasta 8 metros, debido a que carecen de soporte vertical son asociados con otras plantas o se utiliza un tutor para facilitar el crecimiento, además este tipo puede subdividirse en tres tipos más que son: indeterminado arbustivo, indeterminado postrado e indeterminado trepador, las plantas con habito crecimiento del tallo de tipo indeterminado se caracterizan debido a que siguen creciendo aun durante su etapa reproductiva. En la figura 2, se presentan los diferentes tipos de hábitos de crecimiento de crecimiento del tallo.

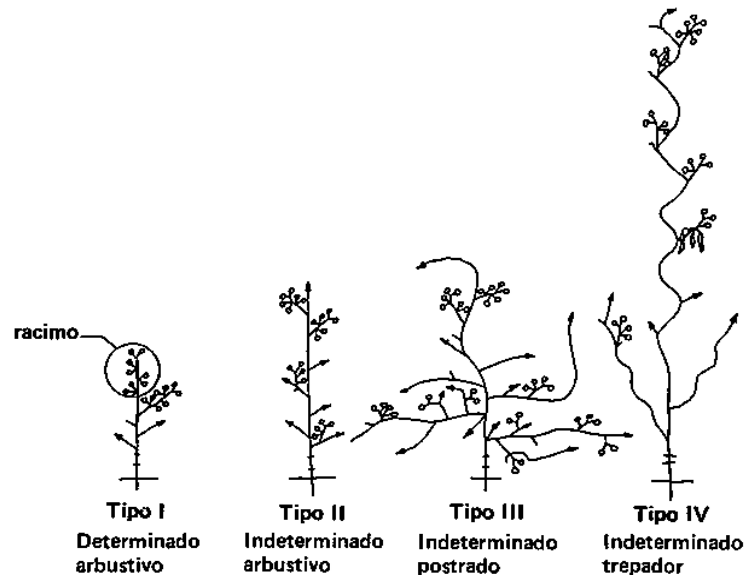


Figura 2. Esquema de los cuatro tipos de hábitos de crecimiento.

Fuente: Debouck & Hidalgo (1984), Chiquimula, 2019.

c. Ramas y complejos axilares

Según Debouck & Hidalgo (1984), los dos componentes de la ramificación son el número de ramas y el número de nudos en cada rama. Las ramas se desarrollan a partir de un complejo de yemas localizado siempre en las axilas formadas por el pulvínulo de un ahoja y el tallo o rama; también en la inserción de los cotiledones, este es el llamado complejo axilar que generalmente está formado por tres yemas visibles desde el inicio de su desarrollo. Estas tres yemas forman un complejo axilar llamado tríada. Las yemas pueden tener un desarrollo diferente que puede ser de tres tipos:

- Caso I, desarrollo completamente vegetativo, este tipo de desarrollo ocurre generalmente en la parte baja de la planta, o sea, en el nódulo cotiledonar, el de las hojas primarias y en los nódulos de las primeras hojas trifoliadas del tallo y de las ramas cualquiera que sea el hábito de crecimiento.
- Caso II, desarrollo floral y vegetativo, se denomina floral y vegetativo porque la yema central, que es la primera en desarrollarse produce tempranamente una inflorescencia; de las otras dos yemas al menos una produce rama. La yema central se desarrolla en una inflorescencia, es decir en un racimo, lo que significa que está en la axila se va a observar primero el racimo floral y después las vainas. Las dos yemas laterales permanecen inicialmente latentes. Este tipo en la parte superior de los tallos o de las ramas de los hábitos de crecimiento tipo II, III y IV.
- Caso III, desarrollo completamente floral, se denomina floral porque todas las yemas de complejo axilar se desarrollan como órganos reproductivos. Las dos yemas laterales de la tríada se convierten en un botón floral que darán origen a una flor y posteriormente a una vaina. Mientras que la yema central inicialmente se encuentra en un estado latente desarrollando más tarde un eje de inflorescencia, pero las flores que aparecen luego en dicho eje abortan. En los hábitos determinados se presentan los casos I y III, mientras que en los indeterminados se presentan los casos I y II.

d. Hoja

Según Debouck & Hidalgo (1984), las hojas de frijol son de dos tipos: simples y compuestas. Están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. Las hojas primarias son simples; aparecen en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogénesis. Son opuestas, cordiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acuminadas. Las hojas simples son las primeras que se desarrollan en la embriogénesis. Las hojas compuestas aparecen después de las hojas simples, trifoliadas son las hojas típicas del frijol. Están compuestas por tres folíolos, un peciolo y un raquis, tanto el peciolo como el raquis son acanalados. El folíolo central o terminal es simétrico y acuminado; los dos laterales son asimétricos y también acuminados.

e. Inflorescencia

Según Debouck & Hidalgo (1984), las inflorescencias pueden ser axilares o terminales. Se componen de racimos de racimos es decir un racimo principal compuesto por dos racimos secundarios, los cuales originan un complejo de yemas (triada floral) que se encuentran en las axilas formadas por las brácteas primarias y el raquis. En la inflorescencia se pueden distinguir tres componentes principales: el eje de la inflorescencia que se compone de pedúnculo y raquis, las brácteas primarias y los botones florales. El racimo se distingue en su estado inicial porque la forma del conjunto tiende a ser cilíndrica o esférica, cubierto por dos estructuras foliáceas de forma triangular.

f. Flor

La flor del frijol es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta. La morfología floral del frijol favorece el mecanismo de autopolinización; en efecto, las anteras están al mismo nivel que el estigma y, además, ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce la dehiscencia de las anteras (antesis), el polen cae directamente sobre el estigma (Debouck & Hidalgo, 1984).

Poco antes de iniciarse la floración, la planta presenta botones florales prominentes. En el caso de los cultivares determinados, las primeras flores en abrir son las correspondientes a los botones ubicados en la parte terminal del tallo principal y de las ramas; posteriormente, la floración se extiende sucesivamente hacia los nudos inferiores de los tallos. En el caso de los cultivares indeterminados, la floración comienza en los nudos reproductivos inferiores del tallo principal y de las ramas, para posteriormente extenderse sucesivamente hacia los nudos superiores.

g. Fruto

Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Las vainas son generalmente glabras o subglabras con pelos muy pequeños; a veces la epidermis es cerosa. Pueden ser de diversos colores, uniformes o con rayas, existiendo diferencias entre las vainas jóvenes o estado inmaduro, las vainas maduras y las vainas completamente secas. El color depende de la variedad (Debouck & Hidalgo, 1984).

h. Semilla

La semilla es exalbuminosa, es decir que no contiene albumen, por lo tanto, las reservas nutritivas se concentran en los cotiledones. Se origina de un óvulo campilótropo. Puede tener varias formas: cilíndrica, de riñón, esférica u otras. La semilla tiene una amplia variación de color (blanco, rojo, crema, negro, café, etc), de formas y de brillo. Esta gran variabilidad de los caracteres externos de la semilla se tiene en cuenta para clasificación de variedades de frijol como consecuencia de la gran diversidad genética que existe dentro de esta especie (Debouck & Hidalgo, 1984).

3.3.4 Características generales del desarrollo de la planta de frijol (*P. Vulgaris* L.)

El desarrollo de la planta de frijol comprende de manera general dos fases sucesivas: la vegetativa y la reproductiva. La fase vegetativa se inicia en el momento en que la semilla dispone de condiciones favorables para germinar, y termina cuando aparecen los primeros botones florales; en esta fase se forma la mayor parte de la estructura vegetativa que la planta necesita para iniciar su reproducción (Henríquez, Prophete, & Orellana,

1992). En la figura 3 se presentan las diferentes fases fenológicas del desarrollo de la planta de frijol.

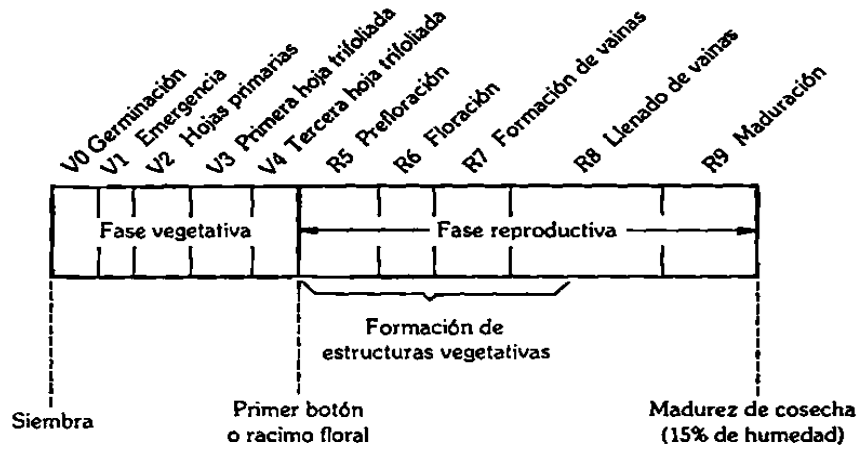


Figura 3. Escala de desarrollo de una planta de frijol (*P. vulgaris* L.).

Fuente: Fernández, Gepts & López (1986), Chiquimula, 2019.

La fase reproductiva se inicia con la aparición de los primeros botones o racimos florales y termina cuando el grano alcanza el grado de madurez necesario para la cosecha; a pesar de ser esta fase eminentemente reproductiva, durante ella las variedades indeterminadas (Tipos II, III y IV) continúan produciendo estructuras vegetativas, aunque en menor intensidad. A lo largo de las fases vegetativa y reproductiva se han identificado 10 etapas bien definidas de desarrollo, las cuales conforman la siguiente escala (Henríquez, Prophete, & Orellana, 1992). En la figura 4 se presenta el momento de inicio y fin de la fase vegetativa y reproductiva de la planta de frijol.

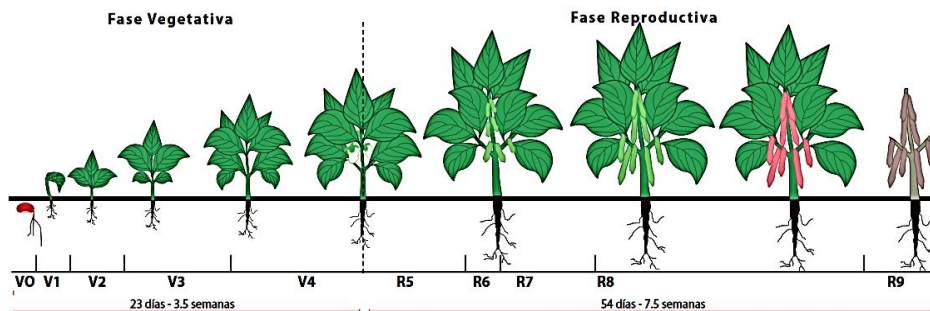


Figura 4. Etapas de desarrollo de frijol (*P. vulgaris* L.).

Fuente: IICA (2009), Chiquimula, 2019.

Cada una de estas etapas se designa con un código formado por una letra y una cifra; la letra, V o R, es la inicial de la fase (vegetativa o reproductiva) a la cual pertenece la etapa, mientras la cifra (0 a 9) indica la posición de la etapa dentro del ciclo de vida de la planta. La duración de las distintas etapas está afectada por los siguientes factores, el hábito de crecimiento (Tipo I, II, III y IV), el clima (temperatura, fotoperiodo, etc.), el suelo (fertilidad, condiciones físicas, etc.), el suelo (fertilidad, condiciones físicas, etc.), el genotipo (aun dentro del mismo hábito de crecimiento), entre otros (IICA, 2009). En la tabla 3, se presentan la fase vegetativa y reproductiva con sus respectivas etapas, además se especifica los días después de la siembra en que ocurre cada etapa.

Tabla 3. Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*P. vulgaris* L.).

Fase	Etapas	Código	DDS
Vegetativa	Germinación	V0	0-5
	Emergencia	V1	5-7
	Hojas primarias	V2	7-11
	Primera hoja trifoliada	V3	11-16
	Tercera hoja trifoliada	V4	16-23
Reproductiva	Prefloración	R5	23-32
	Floración	R6	32-36
	Formación de vainas	R7	36-44
	Llenado de vainas	R8	44-62
	Maduración	R9	62-77

Fuente: IICA (2009), Chiquimula, 2019.

3.4 Variedad de frijol negro ICTA CHORTÍ^{ACM}

La variedad de frijol negro, ICTA Chortí^{ACM}, se originó de la colaboración entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), HarvestPlus e ICTA, su propósito principal es contribuir a reducir los índices de desnutrición, anemia ferropénica e incrementar la absorción de otros minerales que el zinc facilita, por medio del incremento del contenido de hierro y de zinc en el grano de frijol.

Fitomejoradores en el cultivo de frijol del Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas, realizaron varias evaluaciones para el mejoramiento genético y se determinó que esta variedad posee tolerancia a: roya, mancha angular, virus del mosaico dorado y sequía (ICTA, 2017).

El frijol ICTA Chortí ^{ACM}, es una planta de crecimiento indeterminado arbustivo con guía larga (tipo II) que alcanza una altura de 60 cm en promedio, contiene 99 ppm de Fe, se adapta a las condiciones de los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula, la cosecha se puede obtener a los 78 días después de la siembra, con rendimientos de hasta 30 qq mz⁻¹, puede desarrollar por planta 15 vainas de color crema que contienen 7 granos, el grano es alargado de color negro opaco (ICTA, 2017).

En Guatemala, la desnutrición infantil sigue siendo un problema grave de salud pública; Jutiapa, en el oriente del país, tiene 36.8% de desnutrición crónica en niños y niñas entre las edades de 3 y 5 años, Jalapa y Zacapa aproximadamente el 47% y Chiquimula el 62%, subrayó Julio Franco, Coordinador de la Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología del ICTA (Tello, 2017).

3.5 Nutrición mineral de las plantas

Las plantas requieren 16 elementos esenciales para cumplir con sus funciones de crecimiento y reproducción, la usencia de cualquiera de ellos limitará que la planta complete sus fases vegetativas o reproductivas. El N, P, K, Ca, Mg y S se denominan macronutrientes y el Fe, Mn, Cl, B, Zn, Cu y Mo son los denominados micronutrientes (Stauder de Romero, 2010).

De acuerdo con Azcon-Bieto & Talón (2008), los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos, los primeros representan el 90-95% de peso seco de las plantas, entre ellos están carbono, oxígeno e hidrógeno, obtenidos a partir del CO₂ de la atmósfera y del agua del suelo. El 5-10% lo constituyen la denominada fracción mineral.

3.6 Importancia de los macronutrientes primarios N-P-K

3.6.1 Nitrógeno (N)

Azcón-Bieto & Talón (2008), indican que después del agua, el N es el nutriente más importante en el desarrollo de las plantas, dado a su abundancia en las principales biomoléculas de la materia viva, si añadimos que los suelos suelen ser más deficientes en N, que cualquier otro elemento, no resulta extraño que sea, junto con el P y K, el elemento clave en la nutrición mineral.

La mayor parte del N en el suelo se encuentra en la fracción orgánica, no asimilable por la planta. De ahí la importancia de los procesos de mineralización del nitrógeno en el suelo, habitualmente controlado por los microorganismos, por lo que es difícil determinar el potencial de nitrógeno disponible en el suelo. En la planta, el N se distribuye en tres grupos: más del 50% se halla en compuesto de elevado peso molecular (proteínas y ácidos nucleicos); y el resto, en forma de N orgánico soluble (aminoácidos, amidas, aminas) y nitrógeno inorgánico en nitratos y amonios. Su contenido en el total del peso seco de la planta oscila entre el 1.5 y 5%.

Los síntomas de deficiencia nitrógeno son característicos de un elemento muy móvil: clorosis en las hojas adultas que, con frecuencia, caen de la planta antes de ser necróticas. Algunas plantas como el tomate y ciertas variedades de maíz muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianinas.

3.6.2 Fósforo (P)

De acuerdo con Azcón-Bieto & Talón (2008) el fósforo (P), que supone de 0.1 a 0.4 por ciento del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta.

El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad. En contraste con el nitrógeno, el fósforo no se encuentra

en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato, ya sea en forma libre o como un compuesto orgánico, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos ricos en energía, como es el caso de ATP y del ADP.

El fosfato se redistribuye fácilmente en la mayoría de las plantas de un órgano a otro, acumulándose en las hojas jóvenes y en las flores y semillas en desarrollo; en consecuencia, los síntomas de deficiencia se presentan primero en las hojas adultas.

Las plantas deficientes presentan enanismo en contraste con las deficiencias de nitrógeno, un color verde intenso tomando un color parduzco a medida que mueren. La relación fósforo, nitrógeno; es la que regula la maduración: el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fósforo la acelera, por lo tanto, en relación con el nitrógeno el fósforo provoca un gran desarrollo de raíces y menor desarrollo de follaje. Un factor importante que facilita la absorción de fósforo en condiciones naturales es la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas entre hongos del suelo y las raíces de la planta.

3.6.3 Potasio (K)

De acuerdo con Azcón-Bieto & Talón (2008), desempeña, pues, un papel clave en la osmorregulación que tiene lugar en los procesos de apertura y cierre estomáticos, activa más de 50 sistemas enzimáticos. La deficiencia de K, en cultivos se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz y una debilidad en los tallos que hace que las plantas se han sensibles a la acción del viento y las lluvias, principalmente en las monocotiledóneas.

En las dicotiledóneas, los primeros síntomas de clorosis aparecen también en las hojas adultas que posteriormente se vuelven necróticas, se retrasa el crecimiento y se producen pérdidas de turgencia y marchitamiento, mucho más cuando hay un déficit hídrico. En condiciones de exceso de K se incrementa su consumo, salvo en semillas, y ese consumo puede inferir en la absorción y disponibilidad fisiológica de Ca y Mg.

3.7 Importancia de la fertilización en el cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.)

La fertilización es un proceso mediante el cual se le suministra los nutrientes necesarios a través de fertilizantes sintéticos a un cultivo o sistemas de cultivos. El objetivo de la fertilización es aplicar los fertilizantes en el momento oportuno y en el lugar adecuado, para que sean aprovechados por la planta de una mejor manera. El frijol requiere una aplicación de macronutrientes tales como nitrógeno, fósforo y potasio. Aunque siempre se recomienda que el diagnóstico de los problemas nutricionales del frijol se realice mediante análisis de suelos, de tejido vegetal o bien por observación directa tomando en cuenta las deficiencias del cultivo (Stauder de Romero, 2010).

La planta de frijol remueve del suelo aproximadamente 155 Kg/Ha de N, 50 Kg/Ha de P_2O_5 y 120 Kg/Ha de K_2O para obtener un rendimiento de 2.4 t/Ha con rendimientos de 36-37 qq mz^{-1} (Stauder de Romero, 2010).

3.8 Valor nutritivo del grano de frijol negro

Datos publicados por el INCAP (2012), según la tabla de contenido de alimentos de Centroamérica, cada porción 100 gr de frijol negro seco contiene 22.7 g de proteína, 61.60 g carbohidratos, 134 mg de calcio, 7.10 mg de hierro, 2.55 mg de zinc y 1464 mg de potasio, vitaminas y otros compuestos fotoquímicos que aportan benéficos para la nutrición y salud del consumidor por lo tanto resulta como una buena opción para disminuir los casos de desnutrición infantil en las familias de escasos recursos económicos.

3.9 Validación de tecnología

La validación de tecnologías forma parte de la metodología de investigación en sistemas de producción y se utiliza en diversas partes del mundo. Según Radulovich & Karremans (1993), el objetivo de la validación de tecnología, es producir información en un contexto real sobre los efectos que una tecnología puede tener en los sistemas objeto. Esto definirá la conveniencia de transferir una tecnología, en función tanto de las ventajas productivas, socioeconómicas y ambientales que ofrece, como del tipo de productores que se pueden beneficiar de ella.

Es la parte final en el proceso de investigación, en la cual esta tecnología es llevada a los productores para evaluar su pertinencia en condiciones mismas del usuario potencial. En esta fase se obtiene información necesaria de cómo funciona al ser manejada por los mismos productores antes de ser sometida a difusión masiva. Durante el ensayo es el productor quien maneja la tecnología y los investigadores solamente observan y anotan, además, brinda asistencia técnica en algunos aspectos relacionados al manejo en la aplicación de la misma. En la figura 5, se presentan las etapas del proceso de investigación en sistemas agrícolas.

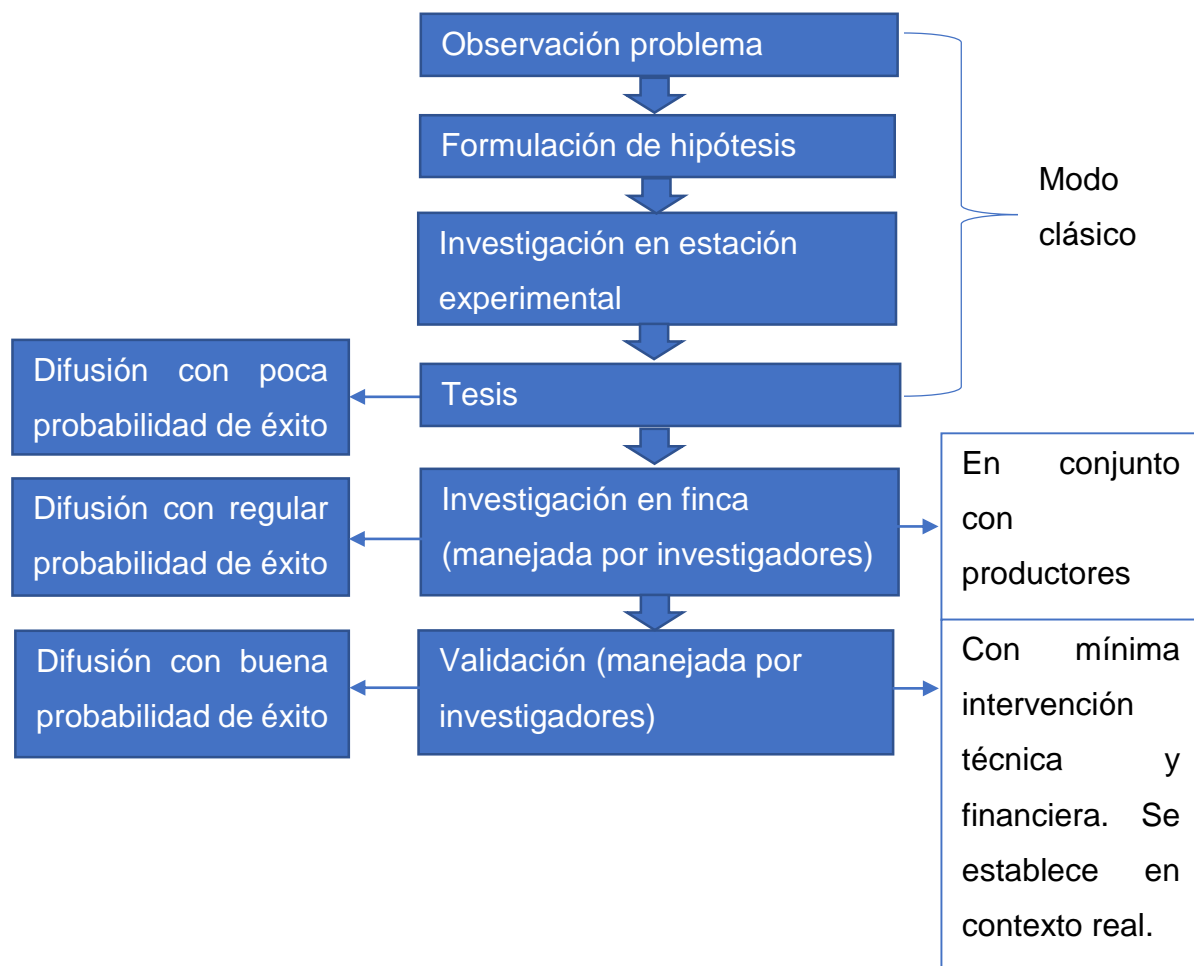


Figura 5. El proceso de investigación y su relación con la difusión masiva: el modelo clásico, la investigación en finca manejada por los investigadores y la validación de tecnologías en finca.

Fuente: Radulovich & Karremans (1993). Chiquimula, 2019.

No es exageración decir que el productor es uno de los investigadores en la validación, y obtener sus impresiones y preferencias sobre la nueva tecnología es fundamental en la consolidación de los datos obtenidos por otros medios. Aunque los objetivos de las diversas modalidades del proceso de validación de tecnologías son básicamente los mismos, es conveniente separar entre los diversos tipos de validación que pueden realizarse (Radulovich & Karremans, 1993):

- a.** Validación prospectiva (hacia adelante) o retrospectiva (hacia atrás). La validación prospectiva, que es el modelo que enfatiza este documento, implica transferir experimentalmente tecnologías a productores y darles seguimiento durante el proceso hasta concluirlo. La validación retrospectiva es cuando se desea obtener información sobre tecnologías que ya están en funcionamiento dentro de los sistemas agrícolas de interés, las cuales los productores han aplicado por algún tiempo y por lo tanto han adoptado.
- b.** Validación simple o múltiple. La validación de tecnologías puede realizarse para una tecnología en particular o para varias, que pueden o no estar ligadas entre sí. La validación de múltiples tecnologías, por otra parte, se desarrolla llevando a los productores tecnologías que impacten diversos sistemas productivos dentro de una finca.
- c.** Validación a nivel de finca o comunitario. Estas dos modalidades de validación, que no necesariamente son excluyentes, se refieren a la distinción que hay que efectuar en algunos casos en que para lograr el adecuado funcionamiento de alguna tecnología es conveniente o necesario implementarla con grupos de productores o con una comunidad. Continuando con la secuencia de pasos del proceso de validación, el manejo de la tecnología por parte de los productores y su familia es un aspecto esencial en la observación y toma de datos. Esto refleja y retroalimenta los criterios sobre la capacitación a productores durante la transferencia, e incluso a los técnicos que la efectuaron.

Existen dos factores fundamentales que deben ser tomados en cuenta respecto al manejo de la tecnología por el productor: uno se refiere a cuál es el nivel de asistencia técnica que se le va a proveer, tanto antes de que aplique la tecnología como durante la validación (e incluso después de la adopción); y el otro se refiere al efecto en el manejo de la tecnología que puede tener la sola presencia de técnicos cuya única misión es tomar datos y no el proveer asistencia técnica.

Evidentemente la introducción de una o varias tecnologías producirá efectos de mayor o menor grado en otros aspectos de la finca; por esta razón, el entendimiento de las diversas relaciones que rigen el sistema finca es fundamental para lograr una intervención exitosa. En cualquier experimento se requiere hacer un análisis estadístico que obliga a organizar los datos agronómicos y económicos obtenidos en campo, y permita una mayor seguridad al momento de interpretar los resultados, sobre todo en cuanto a la pregunta crucial si la tecnología nueva o introducida supera o no la tecnología local en aspectos previamente definidos.

3.10 Validación en parcelas de prueba

De acuerdo con el esquema metodológico de generación de tecnología del ICTA. Éstas son parcelas conducidas por el agricultor. En las parcelas de prueba o validación, el aspecto más relevante es que son los agricultores quienes evalúan la tecnología, procurando que el procedimiento empleado para conducir la parcela y obtener la información, no interfiera con la capacidad del agricultor para determinar por sí mismo, el valor de las tecnologías puestas a prueba. Lo importante es que es el agricultor mismo quien conduce la parcela de prueba, contando únicamente con la orientación técnica del investigador cuya función en este caso es solamente registrar datos y no intervenir (mínima intervención) (ICTA, 2017).

3.11 Evaluación absoluta

La evaluación absoluta es un método de evaluación de tecnología con productores. El método consiste en evaluar cada alternativa tecnológica independientemente de las demás tecnologías del conjunto. El productor evalúa cada elemento y da una opinión

favorable o desfavorable sobre él o le asigna un puntaje. Este método es útil para clasificar un gran número de alternativas tecnológicas, como las variedades de una especie cultivada, cuando se hacen evaluaciones con productores. Se puede usar para generar puntajes de aceptación cuando el investigador está interesado en cuantificar la diferente aceptabilidad provocada en el productor por cada uno de varios elementos. (Guerrero, Ashby & Gracia, 1996).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Localidad y época

En la validación de tecnología se buscó representar la realidad de los agricultores, por lo que se escogieron localidades que representen de la mejor manera las condiciones del oriente del país. En cada parcela de validación se obtuvo información biofísica y socioeconómica, de manera que permitió concluir y dar recomendaciones para un mayor número de productores. La parcela fue manejada por parte del productor, mientras el investigador brindó asistencia técnica para asegurar un buen desarrollo del cultivo. En la figura 6, se identifican los municipios del departamento de Chiquimula en donde se ubicaron las parcelas de prueba.

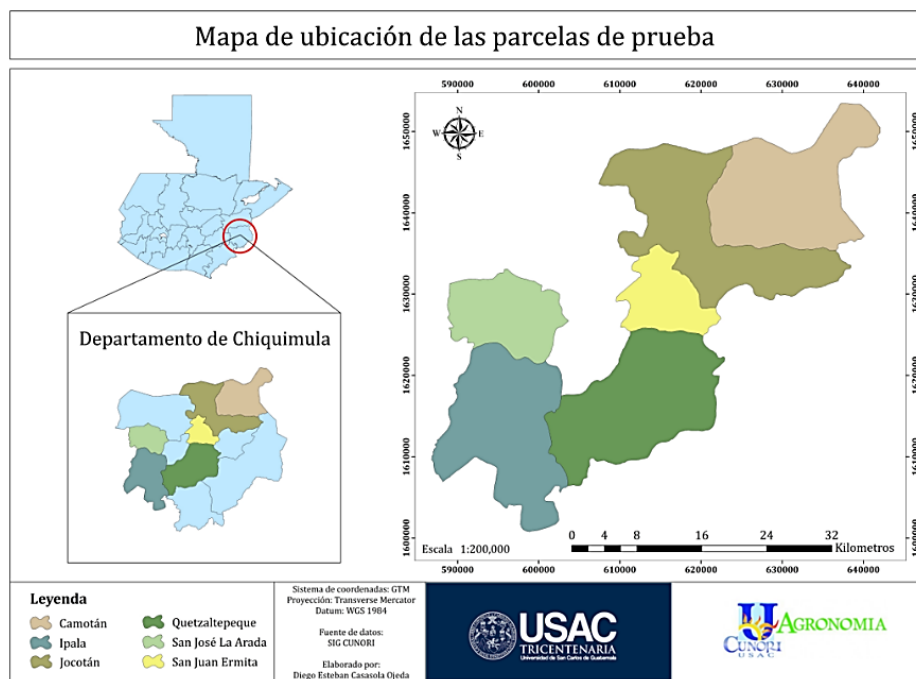


Figura 6. Representación gráfica de la ubicación de las localidades donde se realizó la validación de tecnología.

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

Las parcelas se establecieron en los meses de mayo a junio del año 2019. El número de parcelas establecidas en el desarrollo de la investigación fueron diez parcelas, para poder tener los datos necesarios para la prueba de t Student y que deriven en una veracidad de los datos obtenidos.

Las diez parcelas se establecieron en diferentes localidades de los municipios del departamento de Chiquimula. El ensayo de validación se realizó en la época llamada frijol de primera, la cual inició en el mes de mayo y finalizó con la cosecha en los meses de julio y agosto según la fecha de siembra del año 2019, tratando de coincidir con la temporada de canícula lo cual beneficia en el secado de grano y en la calidad del mismo.

4.2 Características del área

Según la clasificación de zonas de vida hecha por Holdridge, citado por De La Cruz (2013) en el departamento de Chiquimula se pueden encontrar las zonas de vida Bosque Húmedo Subtropical (Templado) (bh-S(t)) y Bosque Húmedo Subtropical (cálido) (bh-S(c)). En esta zona de vida, el período en que las lluvias son más frecuentes corresponde a los meses de mayo a noviembre, variando en intensidad según la situación orográfica que ocupan las áreas de la zona. La biotemperatura media anual para esta zona, varía entre 20°C y 26°C.

La estación meteorológica ubicada en Camotán, Chiquimula, reporta una precipitación pluvial media anual de 789 mm con 109 días con lluvia y con temperatura máxima promedio anual de 43 °C y una mínima promedio anual de 11 °C en el año 2016 según INE.

4.3 Características del cultivar utilizado

Se utilizó la variedad de frijol negro, ICTA Chortí ^{ACM}, puesto que se adapta a las condiciones climáticas de las localidades del oriente del país. Esta variedad es producto de la colaboración entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), HarvestPlus e ICTA, el objetivo principal de la biofortificación de este material es contribuir a reducir los índices de desnutrición, la anemia ferropénica e incrementar la absorción de otros minerales que el zinc facilita (Villatoro, Castillo & Franco, 2011).

De acuerdo con información publicada por ICTA en el informe de memoria de labores para el año 2017, la enfermedad del virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV) es de importancia en Guatemala, causa hasta el 100% de pérdida en la producción en

variedades susceptibles. La enfermedad es más frecuente en zonas con patrones de sequía y siembras de cultivos hospederos para la mosca blanca (melón, tomate, pepino y otras plantas) particularmente en el oriente de Guatemala.

A través de diferentes esfuerzos se ha dado prioridad a mejorar el contenido de minerales como hierro y zinc (biofortificación), sin perder la ganancia genética que se ha acumulado en resistencia a las principales enfermedades de cada región productora. En abril 2017, se liberó la variedad biofortificada ICTA Chortí ^{ACM}, con más de 99 partes por millón (ppm) de hierro y tolerancia al virus del mosaico dorado y sequía (Tello, 2017).

A pesar de ser considerada una variedad tolerante el virus del mosaico dorado, el desarrollo y rendimiento de la misma puede ser limitado, dependiendo de la fase fenológica de la planta en la que ocurre la infección del patógeno. En el desarrollo del cultivo en el ensayo de validación del programa de fertilización con el nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O ésta variedad fue severamente afectada por el virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV) por lo cual su desarrollo y rendimiento fue limitado en diferentes localidades.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Objetivos

5.1.1 General

Validar el programa de fertilización con macronutrientes $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ en nivel 50-60-100 Kg Ha^{-1} , como la tecnología que presenta mayor producción y rentabilidad para el agricultor, en diez localidades del departamento de Chiquimula, Guatemala.

5.1.2 Específicos

- a. Comparar el rendimiento del programa de fertilización en nivel de 50-60-100 Kg Ha^{-1} de $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$, con el rendimiento obtenido con el programa de fertilización tradicional que utilizan los productores de frijol en la región.
- b. Evaluar el nivel de aceptabilidad de la tecnología propuesta, con los productores de las localidades donde se desarrolló el ensayo de validación.
- c. Comparar los costos de inversión en la compra de fertilizante del programa de fertilización con el nivel 50-60-100 Kg Ha^{-1} de $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ y el programa de fertilización tradicional de los productores.

5.2 Hipótesis

Nula (H_0): El programa de fertilización con el nivel 50-60-100 Kg Ha^{-1} de $\text{NH}_4\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ no presentará diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento del cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.), al compararlo con el rendimiento de la fertilización tradicional de los productores ($H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$).

5.3 Métodos utilizados para el desarrollo del trabajo

Para el desarrollo de la actividad se utilizó la metodología de validación de tecnología del ICTA, mediante el establecimiento de parcelas de prueba, las cuales son manejadas por el agricultor, contando únicamente con la asistencia técnica del investigador el cual registró el desarrollo del cultivo y recolectó los datos necesarios.

5.4 Metodología del experimento

5.4.1 Diseño experimental

El ensayo de validación se realizó sin diseño experimental, debido a que en la validación de tecnología interesa cuantificar el rendimiento del cultivo, calificar el grado de aceptabilidad del productor con base al rendimiento, y la comparación con el programa de fertilización tradicional utilizado por el mismo.

5.4.2 Tamaño de la unidad experimental

Las parcelas con la tecnología validada y la parcela cultivada de la manera tradicional del agricultor, contaron con las dimensiones de 20 m de ancho x 22 m de largo, obteniendo un área experimental de 440 m² (0.044 Ha), correspondiente a una “tarea” de terreno.

5.4.3 Modelo estadístico

Según Balzarini, et al. (2008), en el manual de usuario del software para análisis estadísticos *InfoStat*®, indican que la prueba t (observaciones apareadas) permite probar la hipótesis de igualdad de medias, cuando se toman observaciones pares desde las dos distribuciones que se comparan. Es decir que se dispone de una muestra de tamaño n de pares de observaciones, cada miembro de un par proveniente de una distribución. La prueba se basa en la distribución de la variable diferencia entre los pares de observaciones, d . Si la hipótesis nula que se quiere probar es $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, esto implica $\mu_d = 0$, donde μ_d es la esperanza de la variable diferencia, para probar esta hipótesis el estadístico usado es:

$$T = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}} \sim T_{(n-1)}$$

Donde:

T = valor de t de Student.

n = número de pares de muestras

$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ = promedio de las diferencias de rendimiento entre tecnología tradicional y la tecnología en validación.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = \text{error estándar de las medias de las diferencias entre rendimiento.}$$

d_i = diferencia entre las observaciones registradas en la i -ésima unidad muestral.

5.4.4 Variables respuesta

- a. Rendimiento del cultivo. Esta variable se cuantificó cuando el contenido de humedad del grano fue bajo ($\leq 14\%$), expresado en Kilogramos/Hectárea.
- b. Nivel de aceptabilidad que la tecnología presente en el agricultor, mediante el método de evaluación absoluta.
- c. Monto de inversión por compra de fertilizantes.

5.4.5 Análisis y obtención de los datos

a. Datos del rendimiento de grano obtenido en cada localidad

En la prueba de validación se establecieron dos parcelas, en las que se observó la variable rendimiento de grano en respuesta al programa de fertilización aplicado en cada una. La comparación de los datos de rendimiento en grano de cada parcela se realizó en dos fases: fase de campo; al momento de la cosecha, utilizando una balanza analítica por separado se recolectaron los datos de rendimiento de grano obtenido en cada parcela de las localidades, los cuales fueron cuantificados en kilogramos por hectárea (Kg Ha^{-1}).

Fase de gabinete; luego de la cuantificación del rendimiento obtenido en cada parcela en las diferentes localidades, se ordenaron y sometieron a análisis estadístico aplicando el modelo de t de Student para observaciones apareadas, mediante el software para análisis estadísticos *InfoStat*®, para determinar si existen diferencias significativas entre el rendimiento del programa de fertilización propuesto y el programa de fertilización tradicional del agricultor.

b. Datos financieros para la determinación de los ingresos y el monto de inversión por compra de fertilizantes

Para la estimación de los ingresos se consideró la venta total de la producción de cada rendimiento promedio obtenido con los dos niveles de fertilización, para ello, se utilizó el precio promedio de venta por kilogramo de frijol producido en época de primera en el mercado de la región.

El precio de venta de frijol negro de primera considerado fue de Q 7.78 Kg⁻¹. Para realizar la contabilidad de todos los costos necesarios para la producción de una hectárea de frijol fueron considerados los costos de fertilizante de los dos niveles de fertilización empleados en esta investigación.

Para comparar los costos necesarios para la implementación del programa de fertilización validado y el programa de fertilización tradicional, se realizó el registro de costos únicamente por la compra de los fertilizantes utilizados en los dos niveles de fertilización empleados para la producción de una hectárea de frijol, ya que es el aspecto fundamental de la validación; posteriormente se compararon para determinar la diferencia del monto de inversión entre la implementación del programa de fertilización validado y el programa de fertilización tradicional.

c. Datos para la evaluación del nivel de aceptabilidad de la tecnología propuesta

Por último, el análisis del nivel de aceptabilidad de la tecnología se realizó con el método de evaluación absoluta, para ello se realizó una encuesta a los productores considerados en la validación, para determinar con una serie de preguntas simples el nivel de aceptabilidad de la tecnología, en las cuales indicaron si la tecnología propuesta en la validación fue aceptable y la posibilidad que adopte la tecnología propuesta en los procesos productivos del cultivo de frijol negro.

De acuerdo con el método de evaluación absoluta el productor calificó la tecnología con una escala del 1-5, donde el puntaje más bajo corresponde a la opción muy malo y el puntaje más alto corresponde a una calificación excelente.

5.5 Manejo del experimento

Debido a la modalidad de la parcela de prueba, el manejo de las parcelas lo realizó el agricultor colaborador, con la excepción de la actividad de fertilización que se proporcionó la asistencia técnica y supervisión de los investigadores; ya que dicha actividad fue primordial en esta investigación. Para el resto de las actividades los investigadores brindaron asistencia técnica y apoyo para que se garantice la supervivencia y el buen desarrollo de las plantas en los ensayos.

5.5.1 Fertilización al suelo

La fertilización se realizó de manera supervisada, debido a que esta actividad agronómica constituyó el objeto del experimento. Se realizó mediante la aplicación del programa de fertilización 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de los macronutrientes NH₄-P₂O₅-K₂O y el programa de fertilización tradicional del productor. Debido al corto ciclo fenológico del cultivo de frijol, se realizó la fertilización en una dosis única al suelo, ocho días después de la siembra.

La aplicación del fertilizante se realizó manualmente con chuzo o macana, en posturas directas al suelo, a distancia de ocho a diez centímetros de la planta, a una profundidad de seis a siete centímetros. Para suplir la demanda nutrimental del cultivo se utilizaron los siguientes fertilizantes multi-nutricionales de forma granular como fuente de nutrientes para adicionarlos al suelo, presentados en la tabla 4:

Tabla 4. Tipos de fertilizantes utilizados en la fertilización del cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.) en la validación del nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Nombre comercial	Fórmula de fertilizante NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O
Triple quince	15-15-15
Fosfato diamónico	18-46-0
Cloruro de potasio	0-0-60

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En la tabla 5 se muestra la cantidad, tipo de fertilizante utilizado y el aporte de cada nutriente específico en relación a la cantidad de fertilizante utilizada para alcanzar los niveles de 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Tabla 5. Kilogramos de fertilizante utilizados en la producción de una hectárea de frijol (*P. vulgaris* L.) y balance del aporte nutricional de cada fórmula de fertilizante utilizado para alcanzar los niveles de 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Cantidad (Kg Ha ⁻¹)	Formula de fertilizante			Requerimientos (Kg Ha ⁻¹)		
	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
				50	60	100
250	15	15	15	38	38	38
68	18	46	0	12	31	0
104	0	0	60	0	0	62
422				50	69	100

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

Para el programa de fertilización tradicional fueron definidos los niveles de NH₄-P₂O₅-K₂O debido a que éstos variaban en cada productor, por tanto, se consideró estandarizar los niveles utilizando 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, el cual fue determinado con la opinión de los productores acerca de la cantidad y tipo de fertilizante que han utilizado en producciones anteriores, coincidiendo en su mayoría los datos presentados en la tabla 6, siendo el único aspecto en el que se intervino en la aplicación del programa de fertilización que los productores realizan tradicionalmente en la producción del cultivo de frijol negro.

Tabla 6. Kilogramos de fertilizante utilizados en la producción de una hectárea de frijol (*P. vulgaris* L.) y balance del aporte nutricional de la fórmula de fertilizante utilizado para alcanzar los niveles de 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O de la fertilización tradicional.

Cantidad (Kg Ha ⁻¹)	Formula de fertilizante			Requerimientos (Kg Ha ⁻¹)		
	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
				45	45	45
300	15	15	15	45	45	45

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

La aplicación de fertilizante en la parcela de validación, se realizó una mezcla homogénea de las fuentes de fertilizantes con las cantidades determinadas en la tabla 5. Luego de la determinación la cantidad de fertilizante utilizada para alcanzar los niveles de NH₄-P₂O₅-K₂O requeridos en ambos programas de fertilización, se procedió a calcular el número posturas para un área de una hectárea, utilizando la fórmula:

$$\# \text{ Posturas} = \frac{\text{Área}}{(\text{Dist. entre planta} \times \text{Dist. entre surco})}$$

Reemplazando datos, tenemos:

$$\# \text{ Posturas} = \frac{10,000 \text{ m}^2}{(0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m})} = 111,111.11 \text{ posturas}$$

Con el dato del número de posturas en 10,000 m² (1 hectárea), se procedió a realizar el cálculo de la dosis de la mezcla de fertilizante aplicado por postura en cada una de las parcelas, la cual es igual al cociente de la cantidad total de kilogramos de fertilizante utilizado en la producción de una hectárea del cultivo de frijol entre el número de posturas calculado para la misma área. En la tabla 7, se muestra el cálculo de la dosis de fertilizante por postura aplicado en cada nivel de fertilización.

Tabla 7. Cálculo de la dosis de fertilizante por postura aplicado en la producción de una hectárea de frijol (*P. vulgaris* L.) en cada programa de fertilización.

Cantidad total de fertilizante utilizado en cada nivel de fertilización	
50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O	45-45-45 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O
422 Kilogramos	300 Kilogramos
Dosis de fertilizante	
422 Kg/111,111.11 posturas= 0.00379 Kg/postura (equivalente a 3.79 g/postura)	300 Kg/111,111.11 posturas= 0.00270 Kg/postura (equivalente a 2.70 g/postura)

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la validación del efecto en el rendimiento del programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, los resultados se compararon con el rendimiento del programa de fertilización tradicional utilizado por los productores con nivel de 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O. En la tabla 8, se presenta la cuantificación de los datos para la variable de rendimiento en grano, para cada uno de los programas de fertilización utilizados en la validación en las diferentes localidades.

6.1 Análisis de resultados de la variable de rendimiento del cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.) en las localidades

Tabla 8. Resumen de los rendimientos de granos en kilogramos por hectárea, obtenidos en cada localidad con los programas de fertilización con macronutrientes NH₄-P₂O₅-K₂O.

#	Localidad	45-45-45 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O (Kg Ha ⁻¹)	50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O (Kg Ha ⁻¹)
1	Ipala, Ipala	613.638	852.27
2	Julumichapa, Ipala	545.456	568.18
3	Los Vados, Jocotán	361.571	568.18
4	Los Vados, Jocotán	318.182	477.27
5	Los Cocos, San Juan la Ermita	323.864	801.14
6	El Común, Quezaltepeque	477.274	562.50
7	El Rincón, San José la Arada	1,022.73	1,329.55
8	El Rincón, San José la Arada	852.275	1,207.39
9	Marimba, Camotán	538.978	647.73
10	Pajcó, Camotán	0	0
Rendimiento promedio		505.40	701.42

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

Para comparar el efecto en el rendimiento de cada programa de fertilización en el cultivo de frijol, se realizó el promedio de los rendimientos de cada programa de fertilización tomando en cuenta los resultados obtenidos en las diferentes localidades. En la tabla 8, se observa que el programa de fertilización con macronutrientes primarios en nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O fue el que mayor rendimiento promedio presentó siendo de 701.42 Kg Ha⁻¹; superó al programa de fertilización tradicional con nivel 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, por una diferencia de 196.02 Kg Ha⁻¹ entre las medias, con el cual se obtuvo un rendimiento promedio de 505.40 Kg Ha⁻¹.

El rendimiento obtenido en las localidades fue bajo, especialmente porque la variedad biofortificada de frijol negro ICTA Chortí ^{ACM} presentó alta susceptibilidad al virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV). Además, a la alta incidencia de plagas que, en conjunto con las enfermedades ocasionadas por los complejos de hongos causantes de la pudrición de tallo, uno de los ensayos establecidos en la parcela 10, ubicada en Pajcó, Camotán fue severamente afectado con pérdida total del cultivo, por lo que no presentó resultados.

6.1.1 Análisis estadístico para la prueba de hipótesis

Con los resultados del rendimiento en grano obtenido en nueve localidades, se procedió al ordenamiento de los datos en el software de análisis estadístico *InfoStat*®, con la finalidad de realizar un análisis mediante el modelo estadístico de t Student para dos observaciones apareadas. La observación uno se compone del rendimiento antes del nivel de fertilización validado y la observación dos es el rendimiento después del nivel de fertilización validado.

En la tabla 9, se presentan los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la prueba t Student para observaciones apareadas, para la variable de rendimiento en grano de frijol negro en la variedad ICTA Chortí ^{ACM}.

Tabla 9. Resultados de la prueba t Student para observaciones apareadas, comparando el nivel de fertilización 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O con el nivel de fertilización 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Nivel de fertilización de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O		N	Dif. Medias	Dif. DE	Valor T	Valor p (Bilateral)
45-45-45 Kg Ha ⁻¹	50-60-100 Kg Ha ⁻¹	10	-196.02	152.14	-4.07	0.0028

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En la tabla 9, se puede apreciar que el p-valor es de 0.0028 (0.28%), siendo éste menor al 0.05 (5%) que es el nivel de significancia definido para la prueba, indica que el nivel de incertidumbre de que la hipótesis nula sea cierta es muy bajo, por lo tanto, se determina que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los rendimientos obtenidos con los dos niveles de fertilización aplicados.

En la prueba de hipótesis, con un nivel de significancia = 0.05 (5%) para una prueba bilateral y 9 grados de libertad, el valor crítico de t es igual a 2.262 (t_c), según lo valores de la tabla de t de Student. La región de aceptación de la hipótesis nula (H₀) está entre los intervalos -2.262 y +2.262. El valor de t calculado con los datos, es de -4.07 situándose fuera de los intervalos, por lo tanto, se encuentra dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula.

Con base en los resultados obtenidos por medio de la aplicación prueba de t para observaciones apareadas para la variable de rendimiento de grano en Kg Ha⁻¹ se sugiere el rechazo de la hipótesis nula (H₀). Con los resultados del análisis estadístico se determinó que el nivel de 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O es el que presentó mayor rendimiento, 701.42 Kg/Ha como promedio de las diferentes localidades consideradas en la validación.

6.2 Análisis de resultados de la variable de monto de inversión por compra de fertilizantes

A diferencia del monto de inversión en la compra de fertilizantes por hectárea del nivel de fertilización tradicional de los productores, el monto de inversión fue más elevado en el nivel de fertilización 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, la diferencia entre los montos es debido a que para alcanzar el nivel requerido en la validación se utilizó más cantidad de fertilizante y el precio es mayor, por lo que presentó una diferencia de Q 499.00 entre los costos de fertilizante del nivel de fertilización validado y los costos de fertilizante del nivel de fertilización tradicional. El resumen de los costos por compra de fertilizante se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Resumen de costos de fertilizantes utilizados en la producción de una hectárea de frijol (*P. vulgaris* L.), con los niveles de fertilización empleados en la validación.

Fertilizantes	Cantidad (Kg)	Monto (Q)
Nivel 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O	300	1,240.00
Triple 15 (15-15-15)	300	
Nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O	422	1,739.00
Triple 15 (15-15-15)	250	
Fosfato diamónico (18-46-0)	68	
Cloruro de potasio (0-0-60)	104	
Diferencia de costos		499

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En el desarrollo de la validación hubo daños al cultivo por plagas, el complejo de hongos del suelo y principalmente por el virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV); los cuales influyeron en la reducción de los rendimientos obtenidos y en consecuencia en el aumento de los costos de producción, por la inversión en los insumos utilizados para los métodos de control.

Tabla 11. Resumen de ingresos por venta total de la producción promedio de granos de los niveles de fertilización y costos de la compra de fertilizantes utilizados.

Nivel de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O	Rendimiento promedio (Kg Ha ⁻¹)	Precio/Kg de frijol (Q)	Ingresos Brutos/Ha (Q)	Costos/Ha (Q)
45-45-45 Kg Ha ⁻¹	505.4	7.78	3,932.01	1,240.00
50-60-100 Kg Ha ⁻¹	701.42	7.78	5,457.05	1,739.00

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En la tabla 11, se pueden observar el resumen de los rendimientos, el precio por kilogramo de frijol, los ingresos brutos por la venta de la producción y los costos por compra de fertilizante en cada nivel de fertilización. El nivel de fertilización validado obtuvo mayores ingresos por venta, superando por Q1,525.04, al compararlo con los ingresos obtenidos con el nivel 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Para realizar un análisis más amplio de los ingresos, se procedió a calcular los ingresos por venta de cada rendimiento obtenido en las diferentes localidades donde se desarrolló la validación de tecnología, los cuales se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Resumen de ingresos por venta de la producción de una hectárea de frijol negro (*P. vulgaris* L.) de los rendimientos por localidad de los niveles de fertilización comparados en la validación.

No.	Localidad	Ingresos brutos	
		45-45-45 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O (Q) Productor	50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O (Q) Validación
1	Ipala, Ipala.	4,774.10	6,630.66
2	Julumichapa, Ipala.	4,243.65	4,420.44
3	Los Vados, Jocotán.	2,813.02	4,420.44
4	Los Vados, Jocotán.	2,475.46	3,713.16
5	Los Cocos, San Juan Ermita.	2,519.66	6,232.87
6	El Común, Quezaltepeque.	3,713.19	4,376.25
7	El Rincón, San José la Arada.	7,956.84	10,343.90
8	El Rincón, San José la Arada.	6,630.70	9,393.49
9	Marimba, Camotán.	4,193.25	5,039.34
10	Pajcó, Camotán.	0	0

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En la tabla 12, se observa que los ingresos más altos se obtuvieron en dos de las localidades, siendo éstas, las ubicadas en El Rincón del municipio de San José la Arada, en ésta localidad se ubica la parcela 7 en la cual se obtuvo el rendimiento más alto siendo de 1,329.55 Kg Ha⁻¹, equivalente a 20.5 quintales/manzana.

En la parcela 7, se obtuvo un ingreso bruto por la venta total de la producción a precio de mercado de Q 10,343.90, en el nivel de fertilización 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, los cuales luego de cubrir los costos por compra de fertilizante utilizado en el nivel de fertilización presentó un beneficio de Q 8,604.9. Además, se puede observar que en el resto de las localidades los datos de los ingresos por venta obtenidos con el programa de fertilización con nivel de 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, se mantuvo superior a los datos obtenidos con el programa de fertilización tradicional del productor.

6.3 Análisis de resultados de la variable de nivel aceptabilidad de la tecnología validada

En la tabla 13, se presentan los resultados de las encuestas realizadas a los agricultores en el formato utilizado para la tabulación de los datos, según la metodología de evaluación absoluta de la tecnología validada.

Tabla 13. Formato para tabulación de resultados obtenidos en evaluación absoluta de la tecnología validada.

No.	Nombre del elemento	Puntaje en cada encuesta									Puntaje total	Posición
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
1	50-60-100 Kg Ha ⁻¹ de NH ₄ -P ₂ O ₅ -K ₂ O	4	4	3	4	5	5	3	4	3	35	1

Fuente: Guerrero, Ashby & Gracia (1996), Chiquimula, 2019.

Al observar los resultados en la tabla 13, se logra identificar que la MODA de los datos se mantiene en 4, por lo tanto, se infiere con base a la evaluación absoluta el nivel de aceptabilidad de la tecnología validada fue bueno.

El elemento más relevante para inferir en el nivel de aceptabilidad de la tecnología validada por parte del productor fue en el que asignó una calificación en una escala de 5 niveles, según el grado de conformidad en respuesta a sus expectativas y rendimiento obtenido. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 7.

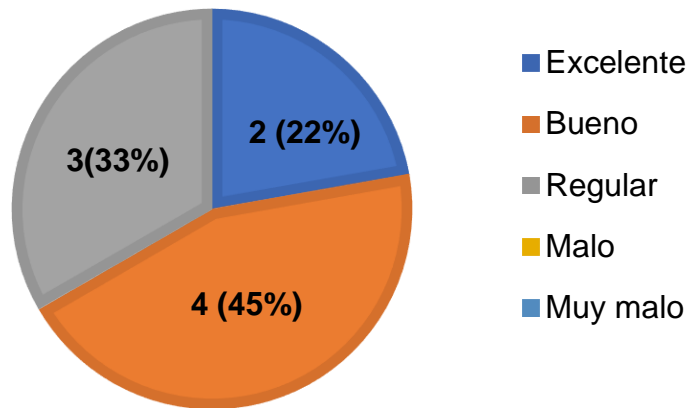


Figura 7. Distribución gráfica de los resultados de la evaluación absoluta del nivel de aceptación del programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O.

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

En la figura 7, se puede observar la distribución grafica de los resultados de la evaluación absoluta de la tecnología validada. En cuanto al nivel de aceptabilidad de tecnología validada, por parte de los productores, según los resultados de la encuesta realizada a los 9 productores que participaron en la validación (100%), dos la calificaron como excelente (22%), cuatro la calificaron como bueno (45%), tres la calificaron como regular (33%), no hubo calificación para la categoría malo y muy malo (0%).

En la encuesta realizada a los productores para la evaluación del nivel de aceptación de tecnología mediante el método de la evaluación absoluta, en uno de los cuestionamientos se le planteo si existía la posibilidad de adoptar la tecnología validada para implementarla en los procesos productivos del cultivo de frijol, apartado en el cual se definieron cuatro opciones, por las que el productor pudo responder. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 8.

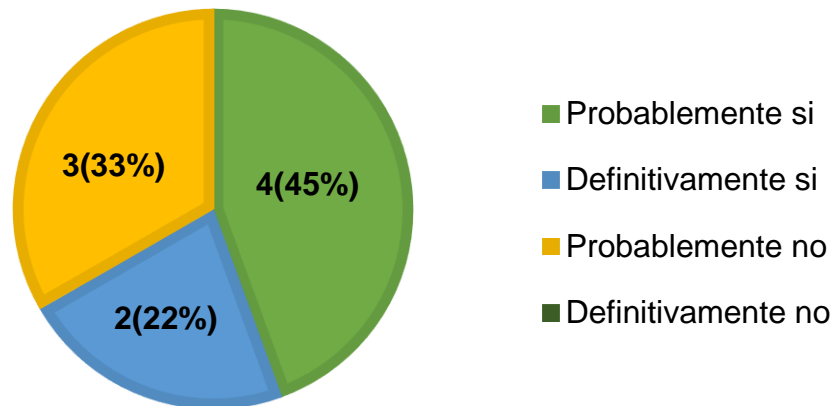


Figura 8. Distribución gráfica de los resultados de la posibilidad que el productor adopte la tecnología propuesta para implementarlo en los procesos productivos del cultivo de frijol negro (*P. vulgaris* L.).

Fuente: elaboración propia, Chiquimula, 2019.

Según los resultados de la encuesta realizado con los productores, en la figura 8, se puede observar que cuatro productores probablemente sí adoptarían la tecnología (45%), tres productores probablemente no la adoptarían (33%) y dos productores definitivamente sí la adoptarían en sus procesos productivos (22%).

7. CONCLUSIONES

El programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O en etapa de validación presentó diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los rendimientos del cultivo de frijol en el departamento de Chiquimula, pues al comparar los resultados con el programa de fertilización tradicional con nivel de 45-45-45 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, en todas las localidades superó en rendimiento, con una diferencia promedio de 196.02 Kg Ha⁻¹.

El programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, como tecnología en etapa de validación presentó un nivel de aceptabilidad del 67% de los productores, y, en consecuencia, adoptarán la tecnología validada para implementarla en los procesos productivos del cultivo de frijol negro en sus fincas.

Existe diferencia en los montos de inversión por compra de fertilizante entre los programas de fertilización comparados, el nivel 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O tiene mayor costo, supera en Q499.00 al monto invertido en el programa de fertilización tradicional; sin embargo, esta inversión fue compensada por la diferencia de ingresos obtenidos en la venta de la producción, con una media Q1525.04, equivalente a 38.785% de los ingresos obtenidos con el programa de fertilización tradicional del productor.

8. RECOMENDACIONES

El consorcio regional de investigación agropecuaria CRIA oriente, puede replicar la validación de este programa de fertilización utilizando otras variedades de frijol negro, antes de socializar la información generada con esta investigación a productores de la región del oriente de Guatemala, con el fin de reforzar la tecnología validada. Posteriormente, compartir esta tecnología con agricultores, profesionales, equipos técnicos de instituciones gubernamentales y no gubernamentales en procesos de transferencia tecnológica, como un programa de fertilización con el cual se logra una adecuada nutrición del cultivo, mejor rendimiento y relativa rentabilidad.

Continuar con esta línea de investigación en la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Oriente (CUNORI), para validar este programa de fertilización en otros cultivares de frijol comúnmente utilizados por productores de la región, en la época de siembra denominada de segunda, con el propósito de evaluar el efecto del programa, reforzar la tecnología validada, mejorar los sistemas productivos y la tecnificación a los agricultores.

El programa de fertilización química en nivel de 50-60-100 Kg Ha⁻¹ de NH₄-P₂O₅-K₂O, es recomendación general para productores que no realizan análisis de suelos en la región oriente del país, es tecnología apropiada para aportar nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos que presentan deficiencias de estos nutrientes. Sin embargo, los agricultores excedentarios, que tienen procesos tecnificados de labranza de tierra, sistemas de riego y manejo agronómico del cultivo de frijol es recomendable realizar análisis del suelo de la finca previo al establecimiento del cultivo, para elaborar un plan nutricional integral.

9. REFERENCIAS

Aldana de León, LF. 2010. Manual técnico agrícola: producción comercial y de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) (en línea). Quezaltenango, Guatemala, ICTA/PROETTAPA/JICA. 45 p. Consultado 18 abr. 2019. Disponible en <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/produccionSemillaFrijol.pdf>

Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S.L. 639 p. Consultado 20 abr. 2019. Disponible en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>

Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2008. InfoStat: manual del usuario. Córdoba, Argentina, Editorial Brujas. 336 p. Consultado 10 may. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario



Cabrera, CA; Reyes Castillo, CH. 2008. Guía técnica para el manejo de variedades de frijol (en línea). La libertad, El Salvador, MAG/CENTA. 24 p. Consultado 10 may. 2019. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

De La Cruz, JR. 2013. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basado en el sistema Holdridge (en línea). Ortega Alvarado, JL (comp.). Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 27 p. Consultado 5 ene. 2020. Disponible en https://www.academia.edu/10497202/CLASIFICACION%20DE_ZONAS_DE_VIDA_DE_GUATEMALA

Debouck, DG; Hidalgo, R. 1984. Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.); guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Auditutorial sobre el mismo tema. (en línea). Cali, Colombia, CIAT. 56 p. (Serie 04SB-09.01). Consultado 15 abr. 2019. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=AtOLF2NhJogC&lpg=PA6&dq=La%20planta%20de%20frijol%20es%20anual%2C%20se%20cultiva%20desde%20el%20tr%C3%B3pico%20hasta%20las%20zonas%20templadas%2C&pg=PA1#v=onepage&q=La%20planta%20de%20frijol%20es%20anual,%20se%20cultiva%20desde%20el%20tr%C3%B3pico%20hasta%20las%20zonas%20templadas,&f=false>

Fernández de C, F; Gepts, P; López, M. 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). Cali, Colombia, CIAT. 34 p. Consultado 10 may. 2019. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/28093.pdf

FFLUGSA. 2019. El cultivo del frijol y el ejote (en línea, sitio web). Consultado 9 may. 2019. Disponible en <http://fflugsa.tripod.com/frijol.htm#2.1.%20EXIGENCIAS%20CLIM%C3%81TICAS>



Guerrero, MP; Ashby, JA; Gracia, T (comps., eds,.). 1996. Evaluación de tecnología con productores: ordenamiento de preferencias (en línea). Cali, Colombia, CIAT/IPRA. 127 p. (Unidad institucional no. 2). Consultado 20 abril 2019. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=JruL6Enwn5kC&lpg=PA104&dq=%20evaluacion%20de%20aceptabilidad%20de%20tecnologia&hl=es&pg=PA103#v=onepage&q=evaluacion%20de%20aceptabilidad%20de%20tecnologia&f=false>

Henríquez, GR; Prophete, E; Orellana, CL. 1992. Manejo agronomico del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). Cali, Colombia, CIAT/BID/PROFRIJOL. v.5,

211p. Consultado 21 abr. 2019. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/SB_327_U5_Vol.5.pdf

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2017. Investigación para el desarrollo agrícola: memoria de labores (en línea). Guatemala. 76 p. Consultado 25 sep. 2019. Disponible en: <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Memoriasicta/Memoria%20de%20Labores,ICTA%202017.pdf>

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2017. ICTA Chortí ACM variedad de frijol arbustivo biofortificado con hierro y zinc (en línea). Guatemala, ICTA/CIAT. Trifoliar. Consultado 20 abr. 2019. Disponible en <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/ICTA%20Chorti%20ACM%20Varieda%20de%20frijol%20arbustivo%20biofortificado%20con%20hierro%20y%20zinc,%202017.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2009. Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del departamento de Boaco, Nicaragua (en línea). Santa Lucía, Boaco, Nicaragua, IICA/Red SICTA/COSUDE. 28 p. Consultado 11 mayo 2019. Disponible en <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>



INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá). 2012. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica (en línea). 2 ed. Menchú, MT; Méndez, H (eds.). Guatemala, INCAP/OPS. 137 p. Consultado 12 may. 2019. Disponible en: <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2018. Encuesta nacional agropecuaria de granos básicos (maíz, frijol y arroz) año agrícola 2017-2018 (en línea). Guatemala. 33 p. Consultado 13 may. 2019. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2019/01/29/20190129112819t0K8vdPBkGZYjIhvSXRqTgPE0PsoxC9R.pdf>

ITIS (Integrated Taxonomic Information System). 2019. *Phaseolus vulgaris* L. Taxonomic Hierarchy (en línea, sitio web). (Taxonomic Serial no. 26857). Consultado 10 may. 2019. Disponible en https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=26857#null

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2018. El agro en cifras 2015 (en línea). Guatemala, Dirección de Planeamiento del MAGA. 63 p. Consultado 25 abr: 2019. Disponible en https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/Integracion%20y%20comercio%20exterior/el_agro_en_cifras_2015.pdf

Radulovich, R; Karremans, JAJ. 1993. Validación de tecnologías en sistemas agrícolas (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103 p. (Serie Técnica Informe Técnico no. 212). Consultado 14 may. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Radulovich/publication/44503825_Validacion_de_tecnologias_en_sistema



Ramírez López., M. 2014. Evaluación de ocho niveles de macronutrientes N-P-K, en tres materiales de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la aldea Javillal, municipio Quezaltepeque, departamento Chiquimula, Guatemala, 2013 (en línea). Trabajo de Graduación Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, CUNORI. 81 p. Consultado 29 may. 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion_macro_nutrientes_N-P-K.pdf

Ruano Solis, HH; Duarte Gutierrez, JM; Barillas Morales, WA; Quijada Cordero, LO; Antón Sanabria, E. 2016. Evaluación de cinco programas de fertilización química con N- P-K, para tres genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en cuatro localidades del corredor seco de los departamentos de Chiquimula y Zacapa, Guatemala, 2016. CRIA Oriente. 112 p. Consultado 20 abr. 2019. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/INFORME_FINAL_PROYECTO_CRIA.pdf

Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización. Guatemala, Soluciones analíticas/Nordic. 126 p.

Tello de la Fuente, G. 2017. ICTA Chortí, nueva variedad de frijol con más hierro y zinc para Guatemala (en línea, sitio web). Guatemala, HarvestPlus-Noticia. Consultado 20 abr. 2019. Disponible en <https://lac.harvestplus.org/icta-chorti-frijol-biofortificado-guatemala/>

Villatoro Mérida, JC; Castillo Monterroso, F; Franco Rivera, JA. 2011. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). Guatemala, ICTA/MAGA/FAO/CAECID. 33 p. Consultado 25 abr. 2019. Disponible en <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/Produccion%20de%20Frijol%20Phaseolus%20vulgaris%20L%202011.pdf>



10. ANEXOS

Anexo 1. Boleta de evaluación absoluta de tecnología en parcelas de prueba.

Tecnología probada		Programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg/Ha de NH₄-P₂O₅-K₂O	No. Boleta:
Nombre del Agricultor			Fecha:
Localización de la parcela		Comunidad:	
		Municipio:	
		Departamento:	
1	¿Cómo califica “el programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg/Ha de NH₄-P₂O₅-K₂O ” propuesto por CRIA ?	<i>Observaciones:</i>	Excelente ()
			Bueno ()
			Regular ()
			Malo ()
			Muy malo ()
2	¿Qué problemas o desventajas presentó para usted “el programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg/Ha de NH₄-P₂O₅-K₂O ” probada en su sistema de cultivo?		
3	¿Qué ventajas observa en “el programa de fertilización con nivel 50-60-100 Kg/Ha de NH₄-P₂O₅-K₂O ” validado por CRIA ?		
4	¿Cumple “el programa de fertilización con nivel 50-	sí_____ No_____ por qué	

Anexo 3. Boleta para ordenamiento de resultados de la validación de tecnología.

Nivel de NH ₄ - P ₂ O ₅ -K ₂ O	Rendimiento promedio (Kg Ha ⁻¹)	Ingresos Brutos/Ha (Q)	Costos/Ha (Q)
45-45-45 Kg Ha ⁻¹			
50-60-100 Kg Ha ⁻¹			

11. APENDICES

Apéndice 1. Medición del área para el establecimiento de parcelas de prueba.



Apéndice 2. Preparación de semilla con producto protector de semilla previo a siembra.



Apéndice 3. Siembra de frijol (*P. vulgaris* L.) var. ICTA Chortí ^{ACM} en parcelas de prueba.



Apéndice 4. Aplicación de fertilizante en parcelas de prueba.



Apéndice 5. Incidencia de molusco (*Praticolella griseola*) en folíolos de frijol (*P. vulgaris* L.)



Apéndice 6. Pudrición de tallo causado por complejo de hongos en el suelo.



Apéndice 7. Fase de floración en cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.)



Apéndice 8. Fase de fructificación en cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.)



Apéndice 9. Cosecha de granos de frijol (*P. vulgaris* L.) en parcelas de prueba.



Apéndice 10. Limpieza de restos vegetales en grano mediante técnica de venteo y pesaje de rendimientos por parcela de prueba.

