



VALIDACIÓN DEL PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA 50-60-100 KG/HA DE N-P₂O₅-K₂O EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), EN SIEMBRA DE PRIMERA, EN EL ORIENTE DE GUATEMALA. GUATEMALA, 2019.

Ing. Hugo Alejandro Villafuerte Lemus

Ing. Wilmer Alexander Barillas Morales

Diego Esteban Casasola Ojeda

Chiquimula, noviembre de 2019

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores y de las instituciones a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CRIA = Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria

CUNORI = Centro Universitario de Oriente

ICTA = Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola

K₂O = Macronutriente Potasio (en forma de óxido de potasio)

N = Macronutriente Nitrógeno

P₂O₅ = Macronutriente Fósforo (en forma de óxido de fósforo)

INDICE

ABSTRACT	i
RESUMEN	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Importancia del cultivo de frijol	3
2.2. Importancia de la fertilización en el cultivo de frijol	3
2.3. Importancia de los macronutrientes N-P-K	4
2.3.1. Nitrógeno (N).....	4
2.3.2. Fósforo (P)	4
2.3.3. Potasio (K)	5
2.4. Validación de tecnología	6
3. OBJETIVOS	7
3.1. General.....	7
3.2. Específicos.....	7
4. HIPÓTESIS	7
5. METODOLOGÍA.....	8
5.1. Localidad y época.....	8
5.2. Número de parcelas	8
5.3. Diseño experimental	9
5.4. Tratamientos	9
5.5. Tamaño de la unidad experimental.....	9
5.6. Modelo estadístico.....	9
5.7. Variables de respuesta	10
5.8. Análisis de la información.....	10
5.9. Manejo del experimento	10
6. RESULTADOS	12
6.1. Resultado de las parcelas pareadas.....	13
6.2. Relación beneficio – costo de los niveles de fertilización.....	13
7. CONCLUSIONES	17
8. RECOMENDACIONES.....	18
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

VALIDACIÓN DEL PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA 50-60-100 KG/HA DE N-P₂O₅-K₂O EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), EN SIEMBRA DE PRIMERA, EN EL ORIENTE DE GUATEMALA. GUATEMALA, 2019.

Ing. Hugo Alejandro Villafuerte Lemus¹

Ing. Wilmer Alexander Barillas Morales²

Diego Esteban Casasola Ojeda³

ABSTRACT

Crop fertilization is an indispensable activity in agricultural production, this consists in contribute and replace from the soil those nutrients that are depleted by the own crop production. Fertilizers are one of the main inputs of agricultural production, because of this the efficient use is an important source of money saving and reducing environmental impacts. Due to this, the development of scientific research focused on finding the ideal amount of fertilizer, for the crops and soils of our region becomes vital.

In 2016, an investigation was conducted to determine fertilization levels in the black bean crop. Five chemical fertilization programs, of macronutrients N-P₂O₅-K₂O, in three black bean genotypes were evaluated. As a result of this study, it was identified a treatment that showed better results, which was the treatment with a level of 50-60-100 kg/ha of N-P₂O₅-K₂O.

The main objective of this research was to validate the chemical fertilization level of 50-60-100 kg/ha of N-P₂O₅-K₂O, in the bean crop production (*Phaseolus vulgaris* L.) in the “first sow”. To reach this level, a single fertilization was performed, between 10 or 15 days after germination. The application method was carried out buried the fertilizer in the soil using a “chuzo”, 10 cm apart from the plant stem. The technology validation was carried out through test plots conducted by the farmer. The plots were located in different locations in the east of the country, specifically in 6 municipalities of the department of Chiquimula, these were: Tesoro Abajo, Jocotán; Los Cocos, San Juan la Ermita; La Marimba, Camotán; El Común, Quezaltepeque; El Rincón, San José la Arada and Julumichapa, Ipala.

¹Ing. Agr. Profesor afiliado -CUNORI- investigador principal.

² Ing. Agr. Profesor afiliado -CUNORI- investigador asociado.

³Tesista -CUNORI- investigador auxiliar.

The average yield obtained in this investigation was low due to the erratic rainfall regime that occurred during the course of this investigation. Also, due to the modality of test plots conducted by the farmer; all agronomic handling was carried out by local farmers, who had difficulty in perform it adequately, despite the technical guidelines and support provided. Finally, due to the severity of the climate, there was a high incidence of pathogens; and high susceptibility of the bean variety used in this investigation to the golden mosaic virus. There was an incidence of the virus in eight of the nine locations, and losses due to pathogens were estimated at 40 to 70% of production.

After comparing the average yield obtained from the technology validated in this project, it was determined that the results were superior to the traditional fertilizer program of the producers. When performing the statistical analysis with the yield data obtained from the two programs evaluated, it was found that there are statistically significant differences between the validated fertilization program and the traditional program used by the farmer. It was determined that the level 50-60-100 kg/ha of N-P₂O₅-K₂O was the program that presented a better average yield, which was 779.35 kg/ha.

When calculating the financial indicator of the benefit - cost ratio, for the fertilization programs, it was determined that the yield obtained with the validated fertilization program is clearly superior to the traditional farmer program, which allows to increase the income, by the sale of the production. The fertilization level of 50-60-100 kg/ha of N-P₂O₅-K₂O presented superior average yield and better profit on average of all locations. The financial indicator of the benefit - cost ratio for the validated program was Q0.64, compared to that obtained in the traditional program that was Q0.48, it can be seen that level 50-60-100 of N-P₂O₅-K₂O is the most profitable for the farmer.

When determining the indicator of the benefit - cost ratio in all locations, profitability was found in the locality located in El Rincón, San José la Arada, only at the fertilization level of 50-60-100 kg / ha of N-P₂O₅-K₂O In this location a yield of 1,329.55 kg/ha was obtained, which is still a relatively low yield, for a technified producer. This fertilization level is especially useful and profitable for those surplus farmers, who have technical processes of tillage, irrigation systems and good agronomic management.

RESUMEN

La fertilización de los cultivos es una actividad indispensable en la producción agrícola, consistente en aportar y reponer del suelo aquellos nutrientes que se van agotando por la propia extracción de los cultivos. Los fertilizantes son uno de los principales insumos de la producción agrícola, por lo que el uso eficiente constituye una importante fuente de ahorro y de reducción de los impactos medioambientales. Debido a esto se vuelve de vital importancia el desarrollo de investigaciones científicas enfocadas a determinar la cantidad ideal de fertilizante, para los cultivos y suelos de nuestra región.

En el año 2016 se realizó una investigación, para determinar niveles de fertilización en el cultivo de frijol. Se evaluaron cinco programas de fertilización química, de los macronutrientes N-P₂O₅-K₂O, en tres genotipos de frijol. Como resultado de esta investigación se identificó un tratamiento que presentó mejores resultados, el cual fue el tratamiento con nivel de 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

El objetivo de esta investigación fue validar el nivel de fertilización química 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, en la producción del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la siembra de primera. Para alcanzar dicho nivel se realizó una sola fertilización, entre los 10 o 15 días después de la germinación. El método de aplicación del fertilizante se realizó enterrado en el suelo utilizando chuzo, a 10 cm del tallo de la planta. La validación de tecnología se realizó por medio de parcelas de prueba conducidas por el agricultor. Las parcelas estuvieron ubicadas en diferentes localidades del oriente del país, específicamente en 6 municipios del departamento de Chiquimula, estas fueron: Tesoro Abajo, Jocotán; Los Cocos, San Juan la Ermita; La Marimba, Camotán; El Común, Quezaltepeque; El Rincón, San José la Arada y Julumichapa, Ipala.

El rendimiento promedio obtenido en esta investigación fue bajo, debido al errático régimen pluvial que se presentó durante el transcurso de esta investigación. También, debido a la modalidad de parcelas de prueba conducidas por el agricultor; todo el manejo agronómico fue realizado por los agricultores de la localidad, quienes tuvieron dificultad en realizarlo adecuadamente, a pesar de los lineamientos técnicos y el apoyo brindado. Por último, por la severidad del clima se presentó una alta incidencia de patógenos; y alta susceptibilidad de la variedad de frijol utilizada en esta investigación al virus del mosaico

dorado. Hubo incidencia del virus Mosaico dorado en ocho de las nueve localidades, y las pérdidas debido a agentes patógenos se calcularon entre el 40 al 70% de la producción.

Tras haber comparado el rendimiento promedio obtenido de la tecnología validada en este proyecto, se determinó que los resultados fueron superiores al programa de fertilización tradicional de los productores. Al realizar el análisis estadístico con los datos de los rendimientos obtenidos de los dos programas evaluados se comprobó que, sí existen diferencias estadísticamente significativas entre el programa de fertilización validado y el programa tradicional utilizado por el agricultor. Se determinó que el nivel 50-60-100 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$ fue el programa que presentó un mejor rendimiento promedio, el cual fue de 779.35 kg/ha.

Al calcular el indicador financiero de la relación beneficio – costo, para los programas de fertilización, se determinó que el rendimiento obtenido con el programa de fertilización validado es claramente superior al programa tradicional del agricultor, lo que permite aumentar los ingresos, por la venta de la producción. El nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$ presentó superior rendimiento promedio y una mejor rentabilidad en promedio de todas las localidades. El indicador financiero de la relación beneficio – costo para el programa validado fue de Q0.64, en comparación al obtenido en el programa tradicional que fue de Q0.48, se puede observar que el nivel 50-60-100 de $N-P_2O_5-K_2O$ es el más rentable para el agricultor.

Al determinar el indicador de la relación beneficio – costo en todas las localidades, se encontró rentabilidad en la localidad ubicada en El Rincón, San José la Arada, únicamente en el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$. En esta localidad se obtuvo un rendimiento de 1329.55 kg/ha (20.59 quintales/manzana), el cual es aún un rendimiento relativamente bajo, para un productor tecnificado. Este nivel de fertilización es especialmente útil y rentable para aquellos agricultores excedentarios, que tienen procesos tecnificados de labranza de tierra, sistemas de riego y buen manejo agronómico.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el cultivo de frijol es considerado uno de los granos básicos de mayor importancia en todos los estratos sociales, debido a que forma parte principal de la dieta alimenticia en la mayoría de la población, especialmente en el área rural. Se considera uno de los cultivos que aporta las principales fuentes de proteína y carbohidratos vegetal, en conjunto con el cultivo de Maíz. El cultivo de frijol constituye una de las alternativas para la sobrevivencia, generación de ingresos y por ende de la seguridad alimentaria y nutricional del área rural. Aún, mediante procesos no competitivos de producción, el cultivo de frijol se perfila como un producto que se mantendrá en las actividades económicas de sustento y amortiguamiento en el agro nacional.

Durante los últimos años la producción de frijol ha sido afectada por una serie de problemas ocasionados por sequías, exceso de humedad, altas o bajas temperaturas, utilización de variedades locales precoces de bajo potencial de rendimiento, plagas, enfermedades y deterioro de los suelos. En América Latina el frijol se cultiva en suelos con condiciones físicas y químicas muy variables, en muchos de ellos las deficiencias nutricionales pueden limitar los rendimientos. La dosificación adecuada de los nutrimentos al cultivo de frijol no solo contribuye a que el agricultor optimice sus recursos económicos, sino que también influye directamente en la conservación de la fertilidad natural de los suelos y disminuye los riesgos de contaminaciones ambientales, entre otros.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola -ICTA-, a través del programa de Nutrición Vegetal, determinó en 1973 los niveles adecuados de $N-P_2O_5-K_2O$ en varios cultivos agrícolas, incluyendo frijol como otra fase del proceso de evaluación de la fertilidad de los suelos. Esta información unida al criterio de niveles de suficiencia de nutrimentos, derivados de un método de alta correlación, es utilizada como fundamento para orientar programas de fertilización en diferentes cultivos.

Durante el año 2016 se realizó una investigación bajo este fundamento, en la que se evaluaron cinco programas de fertilización química, en tres genotipos de frijol. Como resultado de esta investigación se identificó un tratamiento que presentó el mejor resultado, siendo el programa de fertilización 50-60-100 kg/ha de $N-P_2O_5-K_2O$.

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

La metodología de validación en esta investigación consistió en el establecimiento de nueve parcelas en diferentes localidades de la región oriente del país; en los cuales se evaluó el programa de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O contra el programa de fertilización propuesto por los productores 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Al comparar el rendimiento de estos dos tratamientos por medio del análisis de parcelas pareadas se pudo determinar el tratamiento que presentó un mejor rendimiento en el cultivo.

La validación se realizó en la época llamada de primera, la cual inició en el mes de mayo y finalizó con la cosecha en el mes de agosto del año 2019. Los ensayos se realizaron a la manera tradicional del agricultor, sólo en algunas localidades que tenían acceso a agua se realizaron riegos por inundación, cuando fueron necesarios.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia del cultivo de frijol

Según ICTA (2011) en Guatemala, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes en la dieta de los guatemaltecos, especialmente para familias de escasos recursos. A nivel mundial ocupa el tercer lugar como fuente de proteína y sexto en calorías, también es una fuente importante de minerales. Este grano contiene 22% de proteínas de alta digestibilidad, alto valor energético, contiene alrededor de 70% de carbohidratos totales y además aporta minerales (Ca, Mg, Fe).

ICTA (2011) también indica que, en el país, el frijol ocupa el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que consume la población; se cultiva a nivel nacional, variando el área de siembra, los rendimientos y las tecnologías de manejo en cada región.

Por tanto, el proceso de generación de nuevas tecnologías que mejoren los rendimientos y condiciones de manejo del cultivo de frijol debe fortalecerse para encontrar alternativas de solución a los principales problemas que enfrentan los productores, y contribuir así al desarrollo agrícola del país.

2.2. Importancia de la fertilización en el cultivo de frijol

La fertilización es un proceso mediante el cual se le suministra los nutrientes necesarios a través de fertilizantes químicos a un cultivo o sistemas de cultivos. De acuerdo con Poey (1979) citado por Rodas (2014) 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. Los fertilizantes deben ser aplicados al momento de la siembra o a los ocho días después de la misma, teniendo el cuidado de que el fertilizante no entre en contacto con las semillas, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente.

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.

2.3. Importancia de los macronutrientes N-P-K

2.3.1. Nitrógeno (N)

Azcón-Bieto y Talón (2003), indican que después del agua, el nitrógeno 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 nitrógeno, 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 nitrógeno 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 nitrógeno 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 nitrógeno 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.

2.3.2. Fósforo (P)

De acuerdo con Azcón-Bieto y Talón (2003) el fósforo (P), que suple 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 fosforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad. En contraste con el nitrógeno, el fosforo 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 fosforo, nitrógeno; es la que regula la maduración: el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fosforo la acelera, por lo tanto, en relación con el nitrógeno el fosforo provoca un gran desarrollo de raíces y menor desarrollo de follaje. Un factor importante que facilita la absorción de fosforo en condiciones naturales es la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas entre hongos del suelo y las raíces de la planta.

2.3.3. Potasio (K)

Según Salisbury y Roos, (2000) citados por Rodas (2014) el potasio (K), que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulas la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con potasio (K) sufren menos de enfermedades. Junto con el P y el N, constituyen el contenido principal de los fertilizantes de máxima comercialización debido a la importancia de estos tres elementos. Su comportamiento, a pesar de su naturaleza catiónica, es muy similar al que presenta el fosforo y el nitrógeno, redistribuyéndose con suma facilidad de los órganos maduros a los juveniles dada a su solubilidad y baja afinidad por los ligandos orgánicos, de los que fácilmente se intercambian.

Azcón y Talon (2003), indica que 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.

2.4. Validación de tecnología

La validación de tecnologías puede realizarse para una tecnología en particular o para varias, que pueden o no estar ligadas entre sí. Por ejemplo, la validación de una tecnología simple puede consistir en validar una nueva variedad de maíz. 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. (Radulovich, 1993).

Es el proceso de validación de una nueva tecnología, es el productor quien maneja la tecnología y los investigadores solamente observan y anotan. 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. El ensayo de validación utiliza prácticas experimentales sencillas, un ensayo de esta naturaleza no es para determinar la rigurosidad científica de las diferencias significativas entre tratamientos, sino que determinar las suficientes evidencias prácticas para despejar la hipótesis planteada. En cualquier ensayo de campo 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. OBJETIVOS

3.1. General

Validar el programa de fertilización con macronutrientes (N-P₂O₅-K₂O), en nivel de 50-60-100 kilogramos por hectárea, como el programa de fertilización que presenta una mejor producción y rentabilidad para el agricultor; en diferentes localidades del oriente del país.

3.2. Específicos

Comparar el rendimiento del programa de fertilización, en proporción de 50-60-100 de N-P₂O₅-K₂O kilogramos por hectárea, versus el programa de fertilización del productor de la localidad.

Determinar la rentabilidad por medio de la relación beneficio – costo del programa de fertilización, en proporción de 50-60-100 de N-P₂O₅-K₂O kilogramos por hectárea y compararla con la rentabilidad obtenida en el programa de fertilización del productor de la localidad.

4. HIPÓTESIS

- Ha: El programa de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O presentará mejor resultado en la productividad del cultivo de frijol, al compararlo con el programa de fertilización del productor.

5. METODOLOGÍA

La actividad se desarrolló, de acuerdo con el esquema metodológico de generación de tecnología del ICTA, por medio de parcelas de prueba. Éstas fueron 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. Se procuró que el procedimiento que se empleó para conducir la parcela y obtener la información, no interfiriera 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 fue quien condujo la parcela de prueba, y contó únicamente con la orientación del investigador.

5.1. Localidad y época

En la validación de tecnología se buscó representar la realidad de los agricultores, por lo que se escogieron localidades que representaron 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.

Cada parcela fue establecida en localidades donde el productor cosechó frijol en años anteriores. La parcela fue manejada por parte del productor, mientras el investigador brindó asistencia técnica para orientar al productor, sin embargo, no se intervino en sus prácticas culturales. Las parcelas se establecieron en los meses de mayo a agosto del año 2019.

5.2. Número de parcelas

Para estimar el número de parcelas para la validación de tecnología se utilizó la fórmula de potencia estadística. Se utilizaron los datos obtenidos en la investigación realizada a través del programa CRIA por Ruano, H; Barillas, W (2016), en el nivel de fertilización con N- P_2O_5 - K_2O que se validará con la presente investigación para determinar el error experimental. Se utilizó el nivel de significancia del 95% y un tamaño de efecto por determinar de 100 kg/ha, ya que este es un incremento en rendimiento deseable en la tecnología a validar, porque le traería un beneficio económico al agricultor. Al realizar el cálculo con estos datos se obtuvo una potencia aceptable con un número de cuatro parcelas.

Sin embargo, para tener una mayor representatividad del área del departamento de Chiquimula se procedió a establecer nueve parcelas en el desarrollo de esta investigación, para asegurar la veracidad de los datos obtenidos. Las nueve parcelas se establecieron en diferentes localidades del departamento de Chiquimula, priorizando áreas que sean representativas de las regiones más productoras de frijol.

5.3. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de parcelas pareadas, debido a que en la validación de tecnología interesa cuantificar el rendimiento del cultivo, calificar el grado de aceptabilidad del productor, en base al rendimiento y a las variables fisiológicas del cultivo, y compararlo con el programa de fertilización tradicional del productor.

5.4. Tratamientos

En un sondeo realizado se encontró que los productores no realizan un análisis de su suelo, y diseñan su fertilización con base a los resultados. En lugar de esto los productores utilizan diversos métodos y niveles de nutrientes para fertilizar el cultivo, basándose en disponibilidad económica y su experiencia. Debido a esto se procedió a analizar los niveles mencionados por los agricultores que formaron parte del sondeo, y en base a esto se procedió a estandarizar el mismo nivel de fertilización de los productores, en las nueve localidades.

- Programa de fertilización en nivel 50-60-100 kilogramos por hectárea de N-P₂O₅-K₂O.
- Programa de fertilización tradicional de los productores, estandarizado en el nivel 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

5.5. Tamaño de la unidad experimental

Tanto las parcelas con la tecnología que se validó, como la parcela cultivada de la manera tradicional del agricultor contaron con un área experimental de 0.044 ha (440 m²), correspondiente a una “tarea” de terreno.

5.6. Modelo estadístico

Sin diseño experimental. Para el análisis de los datos de rendimiento se realizará la prueba T para parcelas pareadas.

5.7. Variables de respuesta

- Rendimiento del cultivo al 14% de humedad, expresado en kilogramos por hectárea.
- Rentabilidad de los tratamientos en términos de la relación beneficio/costo.

5.8. Análisis de la información

Por ser una práctica que busca mejorar la producción, se recolectó los resultados de rendimientos del grano, los cuales fueron medidos en kilogramos por hectárea. Luego estos datos fueron sometidos a la prueba T de Student, para parcelas pareadas, para determinar si existen diferencias significativas entre el rendimiento del programa de fertilización propuesto y la forma tradicional del agricultor. Por último, se realizó el análisis financiero de la relación beneficio/costo, para determinar si el programa de fertilización propuesto presentó una mayor rentabilidad para el productor.

5.9. 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; la cual fue la actividad primordial en esta investigación. En el resto de las actividades los investigadores brindaron asistencia técnica para el buen desarrollo de las plantas de los ensayos durante todo su ciclo.

Se utilizó la variedad de frijol ICTA Chortí, puesto que se adapta a las condiciones climáticas de las localidades del oriente del país. Durante el ciclo vegetativo del cultivo se realizaron las actividades de fertilización, control fitosanitario y cosecha; para obtener un buen desarrollo del cultivo en todas las localidades. Se llevó el registro completo de las actividades realizadas en cada localidad.

La fertilización se realizó de manera supervisada, debido a que esta actividad agronómica constituye el objeto de esta validación de tecnología. En la parcela con el nivel a validar se fertilizó mediante la aplicación del programa de 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Para determinar el nivel de fertilización a aplicar en la parcela del programa tradicional del productor se realizó diversas consultas con productores del departamento. A los productores se les preguntó acerca del nivel de fertilización utilizado por ellos y se realizó una estandarización de los niveles mencionados, para utilizar el mismo nivel en todas las localidades, y así poder disminuir la variación entre localidades. El nivel estandarizado utilizado en la parcela con el programa de fertilización tradicional del productor fue de 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

La fertilización en ambos niveles se realizó por medio de una sola aplicación al suelo, entre 10 y 15 días después de la siembra. La aplicación del fertilizante se realizó con chuzo o macana, enterrado en el suelo, a una distancia de 8 a 10 centímetros de la planta, a una profundidad de 6 a 7 centímetros.

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizante foliar, la primera a los 15 días después de la siembra y la segunda a los 30 días después de la siembra, a inicios de la floración. La dosis utilizada fue de 2,85 L/ha o 100 cc/bomba de 16 L., para proveerle a la planta los micronutrientes necesarios.

6. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el proceso de validación del nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O realizado en el oriente de Guatemala. Con base a los resultados obtenidos en cada una de las parcelas de validación, se procedió a realizar el promedio del rendimiento, en grano de frijol, en la parcela con el nivel de fertilización en validación y el rendimiento promedio del cultivo de frijol en la parcela en la cual se utilizó el nivel de fertilización tradicional del productor. Es importante mencionar que en promedio los rendimientos obtenidos en las localidades fueron muy bajos, debido a la alta incidencia de agentes patógenos, especialmente al virus del Mosaico dorado y la alta susceptibilidad a los mismos de la variedad ICTA Chortí utilizada en esta investigación. En el cuadro 1 se presentan estos resultados.

Cuadro 1. Rendimiento individual y rendimiento promedio de frijol en los dos niveles de fertilización con macronutrientes N-P₂O₅-K₂O. Chiquimula, 2019.

No.	Localidad	Kg/hectárea	
		45-45-45 kg/ha de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	50-60-100 kg/ha de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
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	1022.73	1329.55
8	El Rincón, San José la Arada	852.275	1207.39
9	Marimba, Camotán	538.978	647.73
Rendimiento promedio		561.55	779.36

6.1. Resultado de las parcelas pareadas

Con los resultados del rendimiento obtenido en las nueve localidades, se procedió a realizar el análisis estadístico por medio del modelo de parcelas pareadas. Se comparó el rendimiento del nivel de fertilización en validación con el nivel de fertilización tradicional del productor.

Cuadro 2. Prueba T para parcelas pareadas, comparando el del nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O con el nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Chiquimula, 2019.

Nivel de fertilización de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O		Número	Diferencia de medias	Diferencia de desviación estándar	Valor t	Valor p
50-60-100 kg/ha	45-45-45 kg/ha	9	-217.81	143.89	-4.54	0.0019

En el cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos en el análisis estadístico de la Prueba T para parcelas pareadas, en el cual muestra que según el p valor de 0,0019 sí existe diferencia estadísticamente significativa entre el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O y el nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. El nivel de 50-60-100 kg/ha es el mejor, debido a que posee un mejor rendimiento promedio en las localidades comprendidas en la investigación. Para este caso se acepta la hipótesis alternativa, pues sí hay diferencia entre el rendimiento obtenido en esta parcela de validación y el rendimiento del nivel tradicional del agricultor.

6.2. Relación beneficio – costo de los niveles de fertilización

Se procedió a hacer la contabilidad de todos los costos necesarios para la producción de una hectárea de frijol. En los costos de producción se consideró los costos por mano de obra, insumos agro-químicos y los diferentes costos en fertilizante de los dos niveles de fertilización empleados en esta investigación. Los costos de producción para cada nivel de fertilización se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Costos de producción por hectárea de frijol negro, para los dos niveles de fertilización empleados. Chiquimula, 2019.

Concepto	Monto/ha Q
Mano de obra	3,600.00
Insumos agrícolas	4,110.00
Fertilizantes	
Nivel 45-45-45 kg/ha	1,240.00
Nivel 50-60-100 kg/ha	1,739.00
Costos totales	
Nivel 45-45-45 kg/ha de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	8,950.00
Nivel 50-60-100 kg/ha de N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	9,449.00

Como se observa en el Cuadro 3, los costos de producción por hectárea son más elevados en el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, debido a la mayor cantidad de fertilizante utilizado. Luego de analizar los costos se procedió a determinar los ingresos. Para determinar los ingresos se procedió a considerar la venta total de la producción, para cada rendimiento promedio de los dos niveles de fertilización. Para determinar el precio de venta se utilizó el precio actual de oferta en el mercado de la región. Se consideró el precio de venta en Q7.78/kg de frijol negro (Q350.00/quintal de frijol).

Cuadro 4. Ingresos y costos / ha. de frijol negro y relación beneficio costo, para los rendimientos promedio de los dos niveles de fertilización empleados, Chiquimula, 2019.

Ingresos por venta	Kg/ha	Ingresos brutos Q
Rendimiento nivel 45-45-45 kg/ha	561.55	4,367.61
Rendimiento nivel 50-60-100 kg/ha	779.36	6,061.69
INGRESOS POR VENTA	Ingresos brutos Q	Costos totales Q
Nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha	4,367.61	8,950.00
Nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha	6,061.69	9,449.00
INGRESOS NETOS		
Nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha	-Q 4,582.39	
Nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha	-Q 3,387.31	
Relación B/C	Indicador	
Nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha	Q 0.488	
Nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha	Q 0.642	

Como se puede apreciar en el Cuadro 4 no existe rentabilidad para los rendimientos promedio de los dos niveles de fertilización evaluados, debido principalmente al ya mencionado efecto de agentes patógenos presentado en el desarrollo de la investigación. Hubo daños a la producción por efecto de complejo de hongos del suelo, y principalmente por el Virus del Mosaico dorado del frijol.

La diferencia en los costos de fertilizante fue de Q499/ha. del cual es el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O el de costo más elevado; sin embargo, esta inversión se ve recompensada también en la diferencia de ingresos obtenidos en ambos niveles de fertilización. El nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O obtuvo ingresos superiores por venta de Q1,195.08, al compararlo con el nivel 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

Cuadro 5. Ingresos por hectárea de frijol negro y relación beneficio costo, para los rendimientos de cada localidad, en los dos niveles de fertilización empleados. Chiquimula, 2019.

No.	Localidad	Ingresos brutos		Relación B/C	
		45-45-45 kg/ha de N- P ₂ O ₅ -K ₂ O Q	50-60-100 kg/ha de N- P ₂ O ₅ -K ₂ O Q	45-45-45 kg/ha de N- P ₂ O ₅ -K ₂ O Q	50-60-100 kg/ha de N- P ₂ O ₅ -K ₂ O Q
1	Ipala, Ipala	4,772.74	6,628.80	0.53	0.70
2	Julumichapa, Ipala	4,242.43	4,419.20	0.47	0.47
3	Los Vados, Jocotán	2,812.22	4,419.20	0.31	0.47
4	Los Vados, Jocotán	2,474.75	3,712.13	0.28	0.39
5	Los Cocos, San Juan la Ermita	2,518.94	6,231.07	0.28	0.66
6	El Común, Quezaltepeque	3,712.13	4,375.01	0.41	0.46
7	El Rincón, San José la Arada	7,954.56	10,340.93	0.89	1.09
8	El Rincón, San José la Arada	6,628.80	9,390.80	0.74	0.99
9	Marimba, Camotán	4,192.05	5,037.89	0.47	0.53

A pesar de los bajos rendimientos del cultivo de frijol y los bajos ingresos generados por el cultivo en el desarrollo de esta investigación, se puede deducir que para el productor es recomendable invertir en fertilizante, para obtener un buen desarrollo del cultivo. En el Cuadro 5 se observa que se obtuvo rentabilidad en el cultivo de frijol en la localidad número 7, ubicada en El Rincón, San José la Arada, únicamente en el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. En esta localidad se obtuvo un rendimiento de 1329.55 kg/ha, equivalente a 29,25 quintales/ha o 20.59 quintales/manzana, el cual es aún un rendimiento relativamente bajo para un productor tecnificado.

Este nivel de fertilización es especialmente útil y rentable para aquellos agricultores excedentarios, que tienen procesos tecnificados de labranza de tierra, sistemas de riego y buen manejo agronómico. El nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O presenta mayor rentabilidad y un mejor indicador de relación beneficio – costo, que el programa tradicional del productor, al obtener un buen desarrollo del cultivo y mejores rendimientos en la producción.

7. CONCLUSIONES

- En el análisis de los datos de rendimiento obtenido en las localidades, por medio de la prueba T para parcelas pareadas, se determinó que existe diferencia significativa entre el rendimiento obtenido con el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O de este proceso de validación y el nivel de fertilización tradicional 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O de los productores; por lo que se acepta la hipótesis alternativa planteada en esta investigación.
- El nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O fue superior en rendimiento al nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O en todas las localidades. El nivel en validación superó al nivel tradicional de los productores por un margen de 217 kg/ha, en el rendimiento promedio de las nueve localidades.
- Al realizar el análisis financiero por medio del indicador de la relación beneficio – costo se determinó que el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O presentó un indicador de Q0.642 en promedio, fue rentable para un productor y superó al indicador obtenido en el nivel de fertilización 45-45-45 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O; el cual fue de Q0.488. Por lo cual se determinó que el nivel en validación presentó una mejor rentabilidad en todas las localidades.
- Al determinar el indicador de la relación beneficio – costo en todas las localidades, se encontró rentabilidad en la localidad ubicada en El Rincón, San José la Arada, únicamente en el nivel de fertilización 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. En esta localidad se obtuvo un rendimiento de 1329.55 kg/ha (20.59 quintales/manzana), el cual es aún un rendimiento relativamente bajo, para un productor tecnificado. Este nivel de fertilización es especialmente útil y rentable para aquellos agricultores excedentarios, que tienen procesos tecnificados de labranza de tierra, sistemas de riego y buen manejo agronómico.

8. RECOMENDACIONES

- Divulgar y transferir los resultados de esta validación a productores de frijol negro en la región del oriente de Guatemala. Compartir esta tecnología con agricultores, profesionales, equipos técnicos de instituciones gubernamentales y no gubernamentales, en las etapas de transferencia tecnológica. Hacer énfasis que con este programa de fertilización se logra una adecuada nutrición del cultivo y permite obtener mejores rendimientos.
- Este programa de fertilización química en nivel de 50-60-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, es una recomendación general para los suelos de la región oriente del país y, por ser alto en fósforo y potasio es adecuado para aquellos suelos que presentan deficiencias de estos nutrientes. Sin embargo, siempre es recomendable realizar análisis de suelo, previo al establecimiento del cultivo y determinar los niveles adecuados de fertilizante a aplicar.
- Llevar esta tecnología validada a agricultores excedentarios y comerciales de frijol, que posean procesos tecnificados de manejo agronómico; ya que son ellos los que se ven más beneficiados con esta tecnología. El nivel de fertilización no es recomendado para aquellos agricultores de subsistencia, debido al alto costo de inversión en fertilizantes.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2003. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. 522 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, GT) 2011. Producción de Frijol *Phaseolus vulgaris* L (en línea). Guatemala. Disponible en <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/Produccion%20de%20Frijol%20Phaseolus%20vulgaris%20L%202011.pdf>
- Pedroza, H. 2007. Enfoque integrado de investigación y extensión en sistemas agropecuarios, enfoque IESA (en línea). Nicaragua, IICA/INTA. 138 p. Disponible en http://www.iica.int.ni/IICA_NICARAGUA/Publicaciones/Estudios_PDF/Enfoque%20IESA.pdf
- Poey, D. (1979). Los componentes del rendimiento y su aplicación en la investigación de cultivos. Guatemala. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Boletín Técnico No. 3, 17 p.
- Salisbury, F. y Ross, C. (2000). Fisiología de las plantas 1: Células: agua, soluciones y superficies. España, Paraninfo Thomson Learning. 305 p.
- Radulovich, R; Karremans, JAJ. 1993. Validación de tecnologías en sistemas agrícolas (en línea). Costa Rica, CATIE. (Serie Informe técnico no. 212). Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPDO/A4479E/A4479E.PDF>