



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



INFORME FINAL

CRIA REGIÓN OCCIDENTE CADENA DE FRIJOL

Efecto de dosis de NPK y de cal agrícola sobre ICTA Hunapú Precoz (*Phaseolus vulgaris* L.) en Huehuetenango

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
Investigadora Principal

T.U. Henri Alexander Hernández López
Investigadora Auxiliar

Huehuetenango, Guatemala, diciembre de 2018

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores e instituciones a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implican la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Efecto de dosis de NPK y de cal agrícola sobre ICTA Hunapú Precoz (*Phaseolus vulgaris* L) en Huehuetenango

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
T.U. Henri Alexander Hernández López

Resumen:

La investigación se llevó a cabo en 5 localidades del altiplano de Huehuetenango, siendo estos: El Pino, Chiantla; Los Regadillos, Chiantla; El Manzanillo, Aguacatán; El Suj, Aguacatán y Los Lucas, Todos Santos Cuchumatán; evaluándose 24 niveles de macronutrientes más la incorporación de Carbonato de Calcio en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). El objetivo de la investigación evaluar el efecto de la aplicación de nitrógeno, fósforo, potasio y Carbonato de Calcio sobre el rendimiento de frijol, cultivar ICTA Hunapú Precoz. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones.

Los resultados obtenidos evidenciaron que al incorporar cal agrícola al suelo no se produce un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento, ni en los componentes de este; sin embargo, el uso de esta enmienda ayudó a contrarrestar los problemas de acidez en el suelo, haciendo más disponibles los macronutrientes a las plantas. También el uso de esta enmienda tiene otros beneficios como el aumento de la actividad biológica y mejora de la estructura del suelo, beneficios que se ven de mejor forma a mediano y largo plazo. Ahora bien, se comprobó por medio del análisis de la varianza que las combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio usadas producen una diferencia estadística significativa en la variable “Granos por vaina”, no así en las variables “Rendimiento”, “Peso de 100 granos” y “Vainas por planta”. Asimismo al combinar los niveles de cal agrícola con los de nitrógeno, fósforo y potasio, los resultados demuestran que existe diferencia estadística significativa en el rendimiento y granos por vaina, no así en peso de cien granos y vainas por planta.

Por último, los resultados del análisis económico demostraron que el mejor tratamiento fue “Sin cal 50-60-100”, el cual tiene los costos variables más bajos y el beneficio neto más alto, con Q. 4,385.25/ha y Q. 14,653.14/ha, respectivamente. Este último en conjunto con el tratamiento “Con cal 50-60-50”, seleccionado por aspectos como rendimiento, costos variables bajos, ingreso neto alto y el uso de cal agrícola; se recomiendan ser analizados para pasar a validación de tecnología.

Effect of doses of NPK and calcium carbonate on ICTA Hunapú Precoz (*Phaseolus vulgaris* L) in Huehuetenango

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
T.U. Henri Alexander Hernández López

Abstract

The research was carried out in 5 locations in the Huehuetenango highlands, being these: El Pino, Chiantla; The Regadillos, Chiantla; The Manzanillo, Aguacatán; El Suj, Aguacatán and Los Lucas, Todos Santos Cuchumatán; Evaluation of 24 levels of macronutrients aside from Calcium Carbonate in the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.). The aim of the research is to evaluate the effect of the application of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium carbonate on the yield of beans of "ICTA Hunapú Precoz" cultivar. A randomized complete block design is applied according to split plots, with three repetitions.

The results obtained showed that when incorporating agricultural lime into the soil there is no statistically significant increase in yield, nor in the components of this; However, the use of this service helped counteract acidity problems in the soil, making macronutrients more available to plants. The use of this system also has other benefits such as the increase in biological activity and the improvement of soil structure, the benefits obtained in the best way in the medium and long term. Now, it is verified by means of analysis of the variance that the combinations of nitrogen, phosphorus and potassium are used a significant statistical difference in the variable "Grains per pod", not in the variables "Performance", "Weight of 100 grains" And "Pods per plant." Lime levels are also included with nitrogen, phosphorus and potassium, the results found in the difference.

Finally, the results of the economic analysis show that the best treatment was "Without lime 50-60-100", which has the lowest costs and the highest net benefit, with Q. 4,385.25 / ha and Q. 14,653.14 / ha , respectively. The latter in conjunction with the treatment "With lime 50-60-50", selected for aspects such as yield, low variable costs, high net income and use of agricultural lime; It is recommended to be analyzed to pass a technology validation.

Contenido

1. Introducción.	7
2. Marco Teórico.	7
3. Objetivos:	10
3.1. Objetivo General	10
3.2. Objetivos Específicos.	10
4. Hipótesis:	10
5. Metodología:	10
5.1. Localidad y Época	10
5.2. Diseño experimental	11
5.3. Calculo de los tratamientos	11
5.4. Tamaño de la unidad experimental	12
5.5. Modelo estadístico	13
5.6. Variables de Respuesta	13
5.7. Manejo del experimento	16
6. Resultados	18
6.1. Supuestos de la varianza	19
6.2. Análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”	19
6.3. Análisis de la varianza para los componentes de rendimiento	21
6.4. Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo AMMI (1)	25
6.5. Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo SREG-GGE	25
6.6. Análisis económico	26
6.7. Selección de la tecnología a validar	28
7. Conclusiones	29
8. Recomendaciones.	29
9. Referencias Bibliográficas	30
Anexos	31

1. Introducción.

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye una de las alternativas para la sobrevivencia y generación de ingresos en el área rural. Por medio de procesos no competitivos de producción, el cultivo de frijol se perfila como un producto que se mantendrá como una de las actividades económicas de sustento y amortiguamiento en el agro nacional. (López M. R., 2013). Durante los últimos años la producción de frijol, ha sido afectada por una serie de problemas ocasionados por el deterioro de los suelos, sequías, exceso de humedad, altas o bajas temperaturas; utilización de variedades locales precoces de bajo rendimiento, plagas, enfermedades y aplicaciones inadecuadas de macronutrientes, reduciendo considerablemente los rendimientos del cultivo. (Ramírez López, 2013). En lo que a prácticas agronómicas se refiere, la fertilidad de los suelos del altiplano de Huehuetenango no existen recomendaciones para disminuir la acidez de los suelos que están relacionados a su origen calcario, la lixiviación de nutrientes, usos excesivos de fertilizantes, etc. Teniendo provocar que los valores de p^H bajen de 5.5 a 4.5, creando problemas de fertilidad, que sobrelleva el poco desarrollo de la planta, la baja disponibilidad de nutrientes y la alta toxicidad en aluminio y manganeso y especialmente la poca disponibilidad del fósforo en la zona radicular. Por lo que es necesario conocer las necesidades nutricionales del cultivo del frijol en esta región de Huehuetenango. Por otro lado, el uso de cal agrícola permite corregir la acidez excesiva del suelo provocada por el alto contenido de aluminio creando toxicidad en las raíces de las plantas. Al mismo tiempo al aportar el encalado es posible recuperar la productividad del suelo y así alcanzar los rendimientos potenciales, mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (SOPROCAL, 2014)

2. Marco Teórico.

2.1. Funciones de los macronutrientes en la planta del frijol

2.1.1. El Nitrógeno

El nitrógeno es un componente básico de proteínas, enzimas, ácidos, nucleicos, vitaminas etc. El frijol como pertenece a leguminosas, necesita nitrógeno más que las gramíneas. Por otro lado el frijol tiene la capacidad para fijar el nitrógeno del aire a través de una simbiosis con *Rhizobium*. El nitrógeno se absorbe como elemento inorgánico por la raíz; ejemplo NH_4^+ (catión) y NO_3^- (anión). (CIAT, 1972)

2.1.2. El nitrato de potasio

El nitrato de potasio (KNO_3) es una fuente soluble de dos nutrientes esenciales muy importantes. Es comúnmente utilizado como fertilizante para cultivos de alto valor que se benefician con la nutrición de nitratos (NO_3^-) y una fuente de potasio (K) libre de cloruro (Cl^-). El uso del KNO_3 es especialmente deseable en condiciones donde se necesita una fuente de nutrientes altamente soluble y libre de cloro. Todo el nitrógeno (N) está inmediatamente disponible para la absorción de las plantas como nitrato, no requiriendo acción microbiana o transformación adicional en el suelo. (IPNI, 2013)

2.1.3. El Fósforo

El fósforo es un componente de las nucleoproteínas, ácidos nucleicos (ARN y AUN), fosfolípidos, que tiene multifunciones en el metabolismo de la planta. El fósforo es muy importante también en recibir o tomar, conservar, transportar la energía en el proceso de metabolismo. También en la transportación de carbohidratos (glucosa) de la parte aérea de la planta a las vainas se necesita esta energía.

Esto quiere decir, que el fósforo se necesita hasta la época de la maduración fisiológica. Cuando el fósforo está en deficiencia, todo el proceso mencionado anteriormente se disminuye, y finalmente la planta se queda enana como en el caso de la deficiencia de nitrógeno pero sin amarillamiento. Inicialmente esta deficiencia en fósforo da un color verde oscuro porque la concentración de clorofila es más alta que en las hojas de plantas normales y luego el amarillamiento con nervaduras verdes, que empieza por los bordes de las hojas.(CIAT, 1972)

2.1.4. Fosfato Diamónico DAP

Uso agrícola El DAP es una excelente fuente de fósforo (P) y nitrógeno (N) para la nutrición de las plantas. Es altamente soluble y por lo tanto se disuelve rápidamente en el suelo para liberar fosfato y amonio disponible para las plantas. Una característica notable del DAP es el p^H alcalino que se desarrolla alrededor de los gránulos en disolución. Como la disolución de gránulos del DAP libera amonio, el amoníaco volátil puede ser dañino para las plántulas y raíces de plantas cercanas. Este daño potencial es más común cuando el p^H del suelo es superior a 7, una condición que comúnmente existe alrededor del gránulo del DAP en disolución.

Para evitar la posibilidad de dañar las plántulas, se debe tener cuidado evitando colocar grandes cantidades del DAP concentrado cerca de la zona de germinación. El amonio presente en el DAP es una excelente fuente de N que es convertido gradualmente en nitrato por las bacterias del suelo, resultando en una disminución del p^H . Por lo tanto, el aumento en el p^H del suelo alrededor de los gránulos del DAP es un efecto temporal. Este aumento inicial del p^H alrededor del DAP puede influir en las reacciones del micro-sitio entre fosfatos y la materia orgánica del suelo.(IPNI, 2013)

2.1.5. El Potasio

El potasio es un elemento muy importante para el sistema metabólico de la planta dentro del proceso fotosíntesis, presión osmótica, abre y cierre de estomas y en el proceso bioquímico se activan algunas enzimas, pero no es un componente básico de las proteínas, carbohidratos, lípidos y otras enzimas; ni tampoco componente de clorofila ni pigmento de las hojas. Por esta razón es muy difícil definir su función en la planta.(CIAT, 1972)

El potasio se transporta como K^+ , un catión. Es móvil y puede pasar células meristemáticas fácilmente. También es móvil en sentido acropetal basipetal, por eso su deficiencia se ve primero en las hojas viejas. La deficiencia en K se expresa como fallo del vigor de la planta, la que se ve como marchita, al contrario de la deficiencia de P, en que la planta se ve rígida pero pequeña. (CIAT, 1972)

2.1.6. Cloruro de Potasio

El KCl es principalmente utilizado como una fuente de K para la nutrición vegetal. Sin embargo, hay regiones donde las plantas responden favorablemente a la aplicación de Cl^- . El KCl es generalmente el material preferido para satisfacer estas necesidades. No hay un impacto significativo en el agua o aire asociado con dosis normales de aplicación de KCl. La elevada concentración de sales en la proximidad del fertilizante al disolverse puede ser el factor negativo más importante a considerar.(IPNI, 2013)

2.1.7. Correctores de acidez

Reaccionan con el agua del suelo liberando aniones básicos OH, lo que provoca el aumento del p^H (reducción de la acidez). Como consecuencia de ello, aumenta la actividad biológica y tiende a mejorar la estructura del suelo, así como a mejorar la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes; entre los materiales utilizados para corregir las condiciones de bajo p^H en el suelo se tiene la cal agrícola, la cual es la piedra caliza molida que es usada para mejorar el p^H del suelo. Esta cal puede estar contaminada con tierra, por lo tanto el contenido de carbonato ($CaCO_3$) no debería ser menor del 75%. (Cano, 2014)

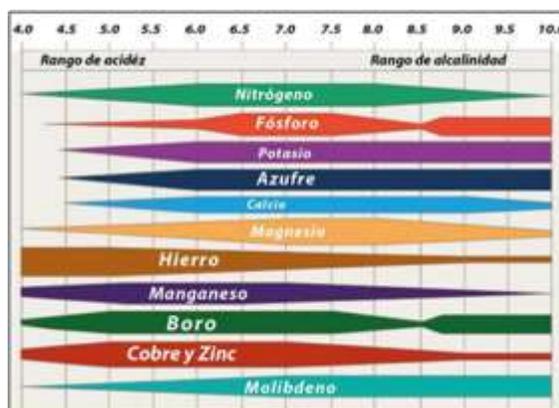
2.1.8. Cal Dolomítica

Roca molida, rica en carbonato de calcio y magnesio, cuyas concentraciones varían dependiendo de la fuente (mina y tipo de roca). Puede ser manipulada por el agricultor, puesto que no se trata de un producto cáustico. Su reacción en el suelo es relativamente lenta (>60 días), pero su efecto generalmente es prolongado (3-5 años).(Cano, 2014)

2.1.9. Acidez en el suelo

En la solución del suelo, las altas concentraciones de Aluminio (Al^{3+}) e Hidrógeno activo (H^+) dan lugar a la acidez del suelo. El p^H (potencial de hidrógeno) es la medida del grado de acidez o alcalinidad de un suelo. Un p^H de 7.0 indica neutralidad, pero a medida que este valor disminuye el suelo se vuelve más ácido, de manera que, un p^H de 6.0 es diez veces más ácido que un p^H de 7.0. El significado práctico del p^H en términos de acidez del suelo, es que afecta significativamente la disponibilidad y la asimilación de nutrientes, y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del suelo. (Cano, Acidez y Alcalinidad de los Suelos, 2014).

Figura 1. Rangos de disponibilidad de nutrientes respecto al p^H .



Fuente: (Cano, Acidez y Alcalinidad de los Suelos, 2014)

2.1.10. Aplicación de la cal

La cal se mueve muy poco en el suelo, de manera que sus efectos benéficos ocurren solamente en la zona de aplicación. La efectividad de la cal se logra mezclando perfectamente el material en los primeros 15 – 20 cm de suelo utilizando implementos como la rastra. La incorporación del material asegura mayor eficiencia, sobre todo en suelos de textura media a pesada. Para cultivos ya establecidos o pastos, y cultivos perennes, la incorporación no es posible y la única forma de aplicación es superficial o con escasa incorporación. En cultivos como café, plátano y palma aceitera, la aplicación se realiza en banda o en zona de fertilización.

Para que la reacción química se manifieste es necesario que haya humedad en el suelo, de tal manera que el encalado se lleva a cabo unos dos meses antes de la temporada de lluvias para mayor efectividad. (Cano, Acidez y Alcalinidad de los Suelos, 2,014)

2.1.11. Bajos rendimientos provocados por la acidez

- ✓ El desmonte de la vegetación natural ocasiona la descomposición acelerada de la materia orgánica, lixiviación de nitrato y producción de acidez.
- ✓ La nitrificación de fertilizantes con amoníaco produce H^+ , su mal manejo puede acelerar la acidez del suelo.
- ✓ La cal es un mineral básico que reacciona con la acidez. y la neutraliza.
- ✓ *La capacidad "buffer", amortiguante o tampón* del suelo es medida como la capacidad de un suelo a resistir cambios en su p^H (acidez o alcalinidad) en términos prácticos representa la cantidad de ácido (o de base) requerida para bajar (o elevar) el p^H ; i.e.- una unidad/kg de suelo.

3. Objetivos:

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de N-P-K y cal agrícola en el rendimiento de frijol, cultivar ICTA Hunapú precoz.

3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar el potencial de rendimiento de grano del cultivar ICTA Hunapú precoz con diferentes programas de fertilización N-P-K, con y sin encalado de suelos.
- ✓ Realizar un presupuesto parcial con los tratamientos a investigar para establecer que dosis de fertilizante con y sin enmienda tienen el mayor beneficio económico para los agricultores.
- ✓ Determinar la variación de los valores p^H después de utilizar las dosis de enmiendas mediante un p^H metro.

4. Hipótesis:

Ho: Los tratamientos de fertilización (N - P_2O_5 , - K_2O + $CaCO_3$), con y sin aplicación de cal agrícola, estadísticamente obtendrán los mismos resultados en rendimientos ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots = \mu_n$).

Ho: Los tratamientos de fertilización con y sin cal agrícola a evaluar tendrán el mismo efecto económico, aplicando la técnica del presupuesto parcial

Ho: Los rangos de p^H ácidos de los suelos, no tendrán una variación en los valores después de la investigación.

5. Metodología:

5.1. Localidad y Época

El Pino, Chiantla; Los Regadillos, Chiantla; Los Lucas, Todos Santos Cuchumatán; El Manzanillo, Aguacatán; El Suj, Aguacatán. La siembra fue en la época seca, (febrero y marzo del 2018).

5.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño con bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, 24 tratamientos (12 con aplicación de cal y 12 sin aplicación de cal) y 3 repeticiones, haciendo un total de 72 unidades experimentales.

Figura 2. Croquis del ensayo experimental.

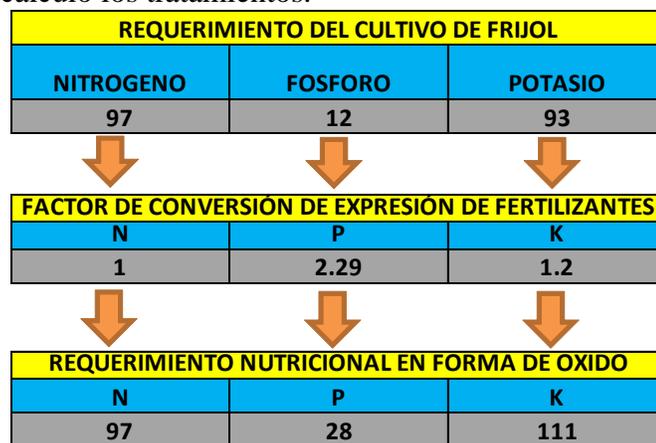


Fuente: Elaboración propia.

5.3. Cálculo de los tratamientos

Para el cálculo de los tratamientos se tomó como base el requerimiento nutricional del cultivo del frijol después se multiplicó por el factor de corrección, dando como resultado los valores en óxido asimilables por las plantas.

Figura 3. Descripción del cálculo los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

En base a los requerimientos nutricionales en óxidos se formaron los niveles de NPK. 50 y 100kg/ha de N; 20, 40, 60kg/ha de P; 50 y 100kg/ha de K y 3y 0t/ha de CaCO₃. De esta manera se crearon los 24 tratamientos que se utilizaron en la investigación.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la investigación.

Tratamiento	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	(CaCO ₃)t/ha
1	50	20	50	3
2	50	20	50	00
3	50	20	100	3
4	50	20	100	00
5	50	40	50	3
6	50	40	50	00
7	50	40	100	3
8	50	40	100	00
9	50	60	50	3
10	50	60	50	00
11	50	60	100	3
12	50	60	100	00
13	100	20	50	3
14	100	20	50	00
15	100	20	100	3
16	100	20	100	00
17	100	40	50	3
18	100	40	50	00
19	100	40	100	3
20	100	40	100	00
21	100	60	50	3
22	100	60	50	00
23	100	60	100	3
24	100	60	100	00

Fuente: Recomendación ICTA

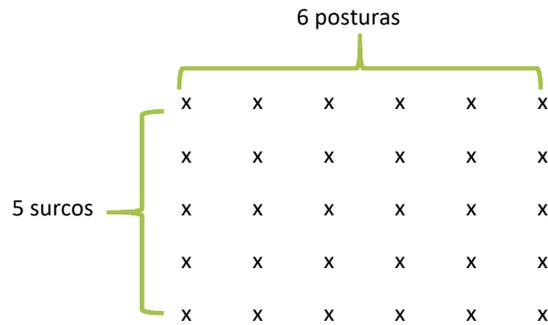
En el cuadro anterior se puede observar los tratamientos aplicados, los cuales son el resultado de la combinación de los factores: Factor A, niveles de nitrógeno; Factor B, niveles de fósforo; Factor C, niveles de potasio; Factor D, 2 niveles de cal agrícola. Dando como resultado la combinación de los niveles de tratamientos. Ejemplificando el tratamiento 1, constituido en la siguiente manera =**N1P1K2C1**

Es importante resaltar que la aplicación de fosfato diamónico (DAP) aportó cierta cantidad de nitrógeno en los diferentes niveles que se manipularon en la investigación. También para la aplicación de nitrato de potasio (NKO₃), aportó una cierta cantidad de potasio.

5.4. Tamaño de la unidad experimental

La unidad experimental constó de 5 surcos y 6 posturas, utilizando una distancia de 0.5 metros entre surcos y 0.4 metros entre postura, colocando 3 granos por postura. Con base a lo anterior la unidad experimental adquirió un área de 6 m². En la Figura 4 se puede observar un croquis del tamaño de la unidad experimental que se trabajó en la investigación.

Figura 4. Tamaño de la unidad experimental.



Fuente: Elaboración propia

5.5. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu \dots + \rho \dots k + \alpha i + \varepsilon(\alpha) + \beta j + (\alpha\beta)ij + \varepsilon(\beta)$$

Dónde:

- Y_{ijk} Valor en el K bloque en la parcela i y la subparcela j .
- $\mu \dots$ Valor constante similar a la media de la población.
- αi Efecto del i -ésimo nivel del factor "A"
- $\varepsilon(\alpha)$ Error experimental de parcelas grandes
- βj Efecto del j -ésimo nivel del factor "B"
- $(\alpha\beta)ij$ Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor "A" con el bloque j -ésimo nivel del factor "B"
- $\varepsilon(\beta)$ Error experimental de sub parcela

5.6. Variables de Respuesta

5.6.1. Rendimiento.

El rendimiento fue calculado por cada tratamiento (24) y también por localidad a un 14% de humedad del grano de frijol.

5.6.2. Número de plantas por unidad experimental

Para el cálculo de esta variable se contabilizaron el número total de plantas que poseían cada unidad experimental. Este dato nos sirvió para saber el total de población de plantas por unidad experimental.

5.6.3. Número de vainas por planta

Para el cálculo de esta variable se tomaron al azar 10 plantas por unidad experimental (tratamiento) y se procedió a contar el número de vainas por cada planta. Los resultados que se presentan a continuación, representan el promedio de vainas por planta para cada tratamiento y para las 5 localidades evaluadas.

Cuadro 2. Número de vainas por planta y por tratamiento

Tratamiento	Vainas/ planta	Tratamiento	Vainas/ planta
50-20-50 con cal	57	100-20-50 con cal	63
50-20-50 sin cal	62	100-20-50 sin cal	61
50-20-100 con cal	64	100-20-100 con cal	67
50-20-100 sin cal	53	100-20-100 sin cal	54
50-40-50 con cal	60	100-40-50 con cal	60
50-40-50 sin cal	63	100-40-50 sin cal	64
50-40-100 con cal	72	100-40-100 con cal	68
50-40-100 sin cal	62	100-40-100 sin cal	61
50-60-50 con cal	61	100-60-50 con cal	63
50-60-50 sin cal	64	100-60-50 sin cal	66
50-60-100 con cal	61	100-60-100 con cal	60
50-60-100 sin cal	63	100-60-100 sin cal	60

Fuente: Elaboración propia.

5.6.4. Número de granos por vaina

Para el cálculo de esta variable se tomaron al azar 10 vainas cosechadas por unidad experimental y se procedió a contar el número de granos por cada vaina. Los resultados que se presentan a continuación, representan el promedio de vainas por planta para cada tratamiento y para las 5 localidades evaluadas.

Cuadro 3. Número de granos por planta y por tratamiento

Tratamiento	Número de granos/ vaina	Tratamiento	Número de granos/ vaina
50-20-50 con cal	6	100-20-50 con cal	6
50-20-50 sin cal	6	100-20-50 sin cal	6
50-20-100 con cal	6	100-20-100 con cal	6
50-20-100 sin cal	6	100-20-100 sin cal	6
50-40-50 con cal	6	100-40-50 con cal	6
50-40-50 sin cal	6	100-40-50 sin cal	6
50-40-100 con cal	6	100-40-100 con cal	6
50-40-100 sin cal	6	100-40-100 sin cal	6
50-60-50 con cal	6	100-60-50 con cal	6
50-60-50 sin cal	8	100-60-50 sin cal	6
50-60-100 con cal	6	100-60-100 con cal	6
50-60-100 sin cal	6	100-60-100 sin cal	6

Fuente: Elaboración propia.

5.6.5. Peso de 100 granos

Para el cálculo de esta variable fue necesario determinar el peso de 100 granos de frijol de cada unidad experimental cosechada. A continuación se presenta el promedio por tratamiento para las cinco localidades.

Cuadro 4. Peso de 100 granos promedio por tratamiento evaluado.

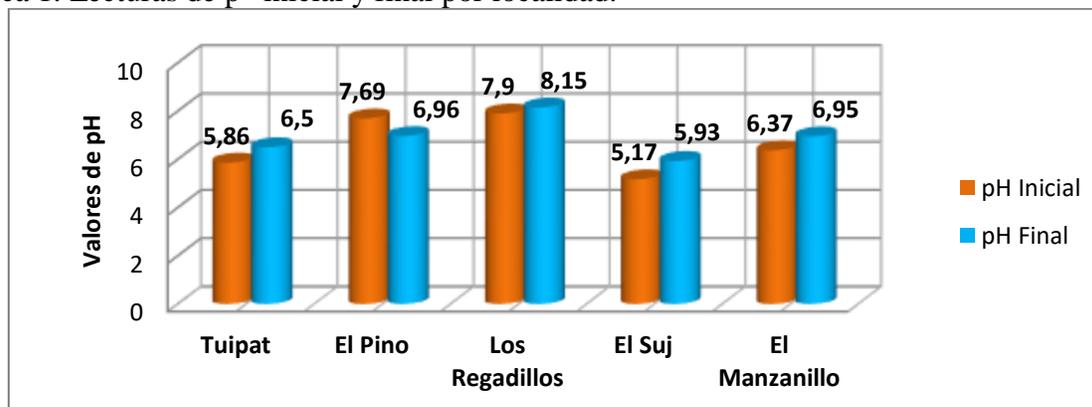
Tratamiento	peso 100 granos (gr)	Tratamiento	peso 100 granos (gr)
50-20-50 con cal	24.57	100-20-50 con cal	25.07
50-20-50 sin cal	24.97	100-20-50 sin cal	24.58
50-20-100 con cal	24.84	100-20-100 con cal	24.80
50-20-100 sin cal	24.40	100-20-100 sin cal	24.42
50-40-50 con cal	24.41	100-40-50 con cal	24.73
50-40-50 sin cal	26.33	100-40-50 sin cal	24.37
50-40-100 con cal	25.37	100-40-100 con cal	24.98
50-40-100 sin cal	24.45	100-40-100 sin cal	25.18
50-60-50 con cal	24.49	100-60-50 con cal	24.27
50-60-50 sin cal	24.43	100-60-50 sin cal	25.20
50-60-100 con cal	25.15	100-60-100 con cal	25.12
50-60-100 sin cal	25.02	100-60-100 sin cal	24.47

Fuente: Elaboración propia.

5.6.6. Lectura de p^H del suelo

Se tomó una muestra de suelo antes de la siembra y otra después de la cosecha por cada localidad, con el fin de conocer los efectos de la aplicación del Carbonato de Calcio en relación al p^H del suelo en cada localidad.

Gráfica 1. Lecturas de p^H inicial y final por localidad.



Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 1, se observa la variación del p^H de la localidad de El Pino, Chiantla; Los Regadillos, Chiantla; posiblemente fue afectada por factores como: Las propiedades químicas de los suelos, manipulación y contaminación de las muestras, precisión en la recolección.

5.6.7. Análisis de la Información.

- ✓ Análisis de la varianza por Modelos lineales Generales y Mixtos
- ✓ Comparación de medias con LSD Fisher
- ✓ Estudio de la interacción genotipo-ambiente y estabilidad con los modelos AMM(1) y SREG-GGE

5.6.8. Análisis económico:

- ✓ Presupuesto parcial
- ✓ Análisis de dominancia

5.7. Manejo del experimento

5.7.1. Aplicación de Carbonato de Calcio (enmienda).

Esta actividad se desarrolló aplicando una dosis de carbonato de calcio representada en kilogramos (1.80 Kg/UE). La incorporación del carbonato de calcio fue al voleo por unidad experimental.

Cuadro 5. Dosis de aplicación por T/Ha y por U/E

Nivel de CaCO ₃ Ton/ha	cantidad bruta (Kg/UE)
3	1.80

Fuente: Elaboración propia

5.7.2. Siembra y resiembra de ensayos.

La siguiente actividad a desarrollar fue la siembra y resiembra. Cabe mencionar que la resiembra se realizó 8 días después de la siembra, estas fechas variaron según la época de siembra de cada localidad, cronograma de actividades y disponibilidad de semilla. El objetivo de esta actividad fue mantener el número total de plantas vivas por unidad experimental. Se sembró a 50 centímetros entre surco y 40 centímetros entre posturas, colocando 3 semillas por postura.

5.7.3. Aplicación de Fungicidas.

Como parte del manejo agronómico se aplicó 25 cc de producto Banrot®mezclados en una bomba de aspersión de 16 litros. Aplicándolo a las zonas afectadas por Rhizoctonia (mal del talluelo). Esta actividad se desarrolló según el crecimiento vegetativo de las plantas y programación de actividades por localidad.

5.7.4. Manejo de Fertilización.

La aplicación de los tratamientos se realizó 10 días después de la siembra de los ensayos. Las cantidades que se aplicaron fueron en gramos por unidad experimental.

5.7.5. Aplicación de fósforo por medio de Fosfato Diamónico (DAP):

Para la aplicación de los 3 niveles fósforo se realizó por medio del fertilizante fosfato diamónico -DAP-(18-46-0). Cabe mencionar que al mismo tiempo se aplicó nitrógeno (18%) en forma elemental, esta cantidad se restó a la cantidad bruta del fertilizante Nitrato de potasio que se aplicó en los niveles de nitrógeno.

Cuadro 6. Dosis de Fosfato Diamónico por Unidad experimental (18-46-0)

Nivel de P ₂ O ₅	Cantidad Bruta de DAP (Kg/UE)	Cantidad de N aportada por DAP (Kg/UE)
20 kg/ha	0.0597	0.01075
40 kg/ha	0.1195	0.02150
60 kg/ha	0.1792	0.03225

Fuente: elaboración propia

5.7.6. Aplicación de Nitrógeno con Nitrato de Potasio:

La aplicación de los dos niveles de nitrógeno se realizó por medio del fertilizante Nitrato de Potasio (13-0-44). Cabe mencionar que al mismo tiempo se aplicó potasio (44%) en forma elemental, esta cantidad se restó a la cantidad bruta del fertilizante Cloruro de Potasio que se aplicó en los niveles de Potasio.

Cuadro 7. Dosis de Nitrato de Potasio por Unidad Experimental

Nivel de N	Nivel de P ₂ O ₅	Cantidad Bruta de N (Kg/UE)	Cantidad de N aportada por DAP (Kg/UE)	Cantidad Neta de N (Kg/UE)	Cantidad Neta de KNO ₃ (Kg/UE)
50 kg/ha	20 kg/ha	0.0300	0.01075	0.0193	0.1481
50 kg/ha	40 kg/ha	0.0300	0.02150	0.0085	0.0654
50 kg/ha	60 kg/ha	0.0300	0.03225	0.0	-0.0173
100 kg/ha	20 kg/ha	0.0600	0.01075	0.0493	0.3788
100 kg/ha	40 kg/ha	0.0600	0.02150	0.0385	0.2962
100 kg/ha	60 kg/ha	0.0600	0.03225	0.0278	0.2135

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 7, se observa que a la cantidad bruta de Nitrógeno se le restó la cantidad de Nitrógeno aportado por el fertilizante Fosfato Diamónico, dando como resultado la cantidad neta de nitrógeno requerido por tratamiento. Después esa cantidad se transformó a la fórmula física del fertilizante Nitrato de Potasio siendo la dosis neta que se aplicó por unidad experimental.

5.7.7. Aplicación de cloruro de potasio KCl:

La aplicación de los 2 niveles de Potasio se realizó por medio del fertilizante Cloruro de Potasio (0-0-60). Cabe recordar que a esta cantidad bruta se le restó la cantidad elemental de potasio que aportó el fertilizante Nitrato de Potasio en los niveles de Nitrógeno.

Cuadro 8. Dosis de KCl por Unidad Experimental

Nivel de KCl	Nivel de Nitrógeno	Cantidad Bruta de K (Kg/UE)	Cantidad de K aportada por NKO ₃ (Kg/UE)	Cantidad Neta de K (Kg/UE)	Cantidad Neta de KCl (Kg/UE)
50 kg/ha	50 kg/ha	0.0360	0.01320	0.0228	0.0380
50 kg/ha	50 kg/ha	0.0360	0.02640	0.0096	0.0160
100 kg/ha	100 kg/ha	0.0720	0.01320	0.0588	0.0980
100 kg/ha	100 kg/ha	0.0720	0.02640	0.0456	0.0760

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 9, se observa que a la cantidad bruta de Cloruro de Potasio le restó la cantidad de Potasio aportado por el fertilizante Nitrato de potasio, dando como resultado la cantidad neta de Potasio requerido por tratamiento. Después esa cantidad se transformó a la fórmula física del fertilizante Cloruro de Potasio siendo la dosis neta que se aplicó por tratamiento.

5.7.8. Aplicación de Insecticidas.

Para control de la Mosca Blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y tortuguilla (*Diabrotica spp*) se utilizó 75 cc de insecticida Monarca® mezclados en una bomba de aspersión de 16 litros. Aplicándolo a las zonas más afectadas del follaje por estos insectos. Se utilizó intervalos de 8 días por aplicación.

5.7.9. Aplicación de Fungicidas.

Para el control del hongo Mildiu Polvoriento, se utilizó 50 cc de fungicida Acrobat®, combinadas con 25 cc de adherente, mezclados en una bomba de aspersión de 16 litros. Aplicándolo a las zonas más afectadas del follaje. Los intervalos de aplicación fueron a cada 5 días hasta disminuir los daños producidos por el hongo.

5.7.10. Cosecha, secado, aporreo y limpia de grano.

Se realizó cuando los ensayos alcanzaron madurez fisiológica, se tomó como parámetro el cambio de la coloración de las hojas y vainas. Esta actividad varió tanto entre en localidades, debido a los ambientes que cambian y también a la fecha de siembra.

6. Resultados

Cuadro 9. Resumen de significancia

Fuentes de variación	El Manzanillo, Aguacatán	El Pino, Chiantla	El Suj, Aguacatán	Los Lucas, Todos Santos C.	Los Regadillos, Chiantla
Factor A	0.3517 NS	0.3677 NS	0.9480 NS	0.2289 NS	0.1210 NS
Factor B	0.4422 NS	0.4912 NS	0.0766 NS	0.5592 NS	0.8113 NS
Factor A*Factor B	0.0228 *	0.7696 NS	0.1524 NS	0.6819 NS	0.2868 NS
C.V.	21.12	23.90	23.20	14.50	16.07

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se muestra un resumen de los “p-valores” para las cinco localidades trabajadas y las fuentes de variación para un Diseño en Bloques Completos Al azar con arreglo de “Parcelas Divididas”. Las fuentes de variación son tres: Factor A, que represente a la enmienda, en este caso “Cal Agrícola”, Factor B, que representa a las combinación de nitrógeno, fósforo y potasio y la última fuente de variación es la interacción Factor A*Factor B. Los p-valores nos ayudan a identificar si existe significancia para las fuentes de variación en determinada localidad. Si no existió significancia se colocaron las literales “NS”, si existió significancia a un alfa del 5%, entonces se colocó un asterisco (*) y si existió significancia al 1%, entonces se colocaron dos asteriscos (**). Con base en los datos del cuadro resumen de significancias se puede concluir que solo existió significancia a un alfa del 5% para la fuente de variación “Factor A*Factor B” en la localidad El Manzanillo, Aguacatán; para el resto de fuentes de variación en y en las cinco localidades evaluadas no hubo significancia estadística. Asimismo presentan los coeficientes de variación, siento este una medida estadística que indica que tan grande es la desviación estándar con respecto a la media; dicho en otras palabras ayuda a comparar la variabilidad que existe entre dos conjuntos de datos y si considera aceptable cuando no sobrepasa el 20%. El coeficiente de variación para las cinco localidades estuvo comprendido entre el 14.5% y el 23.90%

6.1. Supuestos de la varianza

“El análisis de la varianza es sensible a las propiedades estadísticas de los términos de error aleatorio del modelo lineal. Los supuestos tradicionales del ANAVA implican errores independientes, normalmente distribuidos y con varianzas homogéneas para todas las observaciones”, Balzarini, M.G., et al. Debido a lo anterior y para tener conclusiones y recomendaciones más acertadas fue importante que se validaran estos supuestos. En tal sentido para el grupo de datos de la variable “Rendimiento” se realizó un ajuste al modelo debido a que se sospechaba de falta de Normalidad en los datos. El ajuste se hizo por medio de la herramienta “Modelos Lineales Generales y Mixtos” y el programa InfoStat®.

6.2. Análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”

Posterior al ajuste del modelo estadístico y haciendo uso del software estadístico InfoStat® y la herramienta “Modelos Lineales Generales y Mixtos” se procedió a realizar un “Análisis de la Varianza” –ANDEVA- con el objetivo de conocer si existía diferencia significativa en alguna de las fuentes de variación. Los resultados de la ANDEVA se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis de la varianza para la variable rendimiento

Fuentes de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	1385.04	<0.0001
Localidad	4	10	65.02	<0.0001
FactorA	1	10	0.06	0.8182
Factor B	11	220	1.52	0.124
Localidad:FactorA	4	10	1.29	0.338
Localidad: Factor B	44	220	10.78	<0.0001
Factor A:FactorB	11	220	10.29	<0.0001
Localidad:Factor A:Factor B	44	220	10.5	<0.0001

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados mostrados en el Cuadro 10, se puede concluir que existe diferencia estadística significativa para las siguientes fuentes de variación: “Localidad” ($p = <0.0001$), “Localidad*Factor B” ($p = <0.0001$), “Factor A*Factor B” ($p = <0.0001$) y “Localidad*Factor A*Factor B” ($p = <0.0001$). Asimismo se realizó una prueba múltiple de medias para las fuentes de variación “Localidad” y “Factor A*Factor B”. Para la doble interacción “Localidad*B” y para la triple interacción no se realizó prueba múltiple de medias, considerando que se puede interpretar de mejor forma con el análisis de “Regresión por sitios” (Apartado 6.5).

Luego de realizar el análisis de la varianza y observar que existió diferencia estadística significativa para cuatro fuentes de variación, se decidió realizar una prueba múltiple de medias para las fuentes de variación “Localidad” y “Factor A* Factor B”. Para las otras dos fuentes se decidió no realizar pruebas múltiples de media, debido a que en el análisis de Regresión por sitios se puede observar e interpretar de mejor forma.

6.2.1. Prueba múltiple de medias para “Localidad”

La metodología para la prueba múltiple de medias fue la de LSD Fisher, con un alfa del 5%. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Prueba de medias para la variable “Rendimiento” y fuente de variación “Localidad”

Localidad	Medias (kg/ha)	E.E.	Literales			
Los Regadillos	2951.42	111.07	A			
Los Lucas	2292.73	105.85		B		
El Pino	1444.61	107.74			C	
El Manzanillo	1399.79	106.26			C	
El Suj	756.88	100.27				D

Fuente: Elaboración propia

Con base a los resultados mostrados en el Cuadro 11, se puede observar que se formaron cuatro grupos estadísticos, el primero está conformado por la localidad “Los Regadillos” con una media de 2,951.42 kg/ha, el segundo por la localidad Los Lucas (2,292.73 kg/ha), el tercero por las localidades El Pino y El Manzanillo y el cuarto por la localidad El Suj (756.88 kg/ha). Los rendimientos para la localidad “El Suj” se vio mermado debido a la presencia de heladas que afectaron el desarrollo de las plantas y por consiguiente el rendimiento.

6.2.2. Prueba múltiple de medias para “Factor A*Factor B”

Cuadro 12. Prueba de medias para la variable “Rendimiento” y fuente de variación “Factor A*Factor B”

Factor A	Factor B	Medias (kg/ha)	E.E.	Literales									
Con cal	50-60-50	2053.71	87.32	A									
Sin cal	100-20-100	2008.02	87.32	A	B								
Sin cal	100-40-50	1963.55	87.32	A	B	C							
Sin cal	100-20-50	1925.56	87.32	A	B	C	D						
Sin cal	50-60-100	1923.07	87.32	A	B	C	D						
Con cal	50-20-50	1883.38	87.32	A	B	C	D	E					
Con cal	50-20-100	1874.28	87.32	A	B	C	D	E					
Con cal	100-60-50	1855.81	87.32	A	B	C	D	E					
Sin cal	100-60-100	1847.18	87.32	A	B	C	D	E	F				
Con cal	50-40-100	1822.87	87.32		B	C	D	E	F				
Con cal	50-40-50	1805.2	87.32		B	C	D	E	F				
Sin cal	100-40-100	1788.06	87.32			C	D	E	F	G			
Sin cal	50-40-50	1767.9	87.32				D	E	F	G			
Con cal	100-20-50	1728.09	87.32				D	E	F	G	H		
Sin cal	50-40-100	1727.98	87.32				D	E	F	G	H		
Con cal	100-60-100	1708.85	87.32				D	E	F	G	H		
Sin cal	50-60-50	1698.03	87.32					E	F	G	H		
Con cal	50-60-100	1672.36	87.32					E	F	G	H		
Sin cal	100-60-50	1653.92	87.32					E	F	G	H		
Con cal	100-20-100	1617.95	87.32						F	G	H		
Con cal	100-40-100	1595.79	87.32							G	H		
Sin cal	50-20-100	1533.48	87.32									H	
Con cal	100-40-50	1501.73	87.32										H
Sin cal	50-20-50	1501.25	87.32										H

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se puede observar que la prueba múltiple de medias formó ocho grupos estadísticos; el primer grupo con la literal “A” está conformado por los primeros nueve tratamientos, ocupando la primer posición el tratamiento “Con cal 50-60-50” con una media de 2053.71 kg/ha y el último tratamiento de este mismo grupo es “Sin cal 100-60-100” con una media de 1847.18 kg/ha, la diferencia entre los dos es de 206.53 kg/ha.

Continuando el análisis para el grupo con la literal “A”, podemos observar que a diferencia del primer lugar de este grupo, los siguientes cuatro tratamientos no cuentan con la incorporación de cal, aunque estadísticamente no podemos concluir que la no incorporación de cal produzca rendimientos superiores comparado con la aplicación de cal agrícola.

Lo anterior lo podemos corroborar en el cuadro del análisis de la varianza, en donde la fuente de variación “Factor B” (enmienda) no tuvo significancia estadística ($p= 0.8182$) y también en que los nueve tratamientos que pertenecen al grupo con la literal “A”, son estadísticamente iguales en rendimiento.

6.3. Análisis de la varianza para los componentes de rendimiento

Los componentes de rendimiento que se tomaron en la presente investigación fueron: Peso de 100 granos, número de granos por vaina y número de vainas por planta. Para cada uno de ellos se realizó un análisis de la varianza tomando en cuenta que el diseño experimental usado fue Bloques Completos al Azar, con arreglo en parcelas divididas. Cuando fue necesario se realizó una prueba múltiple de medias según LSD Fisher a un alfa del 5%. Los resultados se muestran a continuación:

6.3.1. Peso de 100 granos

Cuadro 13. Análisis de la varianza para la variable “Peso de 100 granos”

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	29158.81	<0.0001
Localidad	4	10	7.04	0.0058
Factor.A	1	10	0.53	0.4826
Factor.B	11	220	1.34	0.2045
Localidad:Factor.A	4	10	2.69	0.093
Localidad:Factor.B	44	220	0.78	0.832
Factor.A:Factor.B	11	220	1.18	0.3052
Localidad:Factor.A:Factor	44	220	0.85	0.7425

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro del análisis de la varianza para la variable “Peso de 100 granos” se puede observar que únicamente existe diferencia estadística para la fuente de variación “Localidad” ($p= 0.0058$). Para las fuentes de variación “Factor A” y “Factor B” no existió diferencia estadística; se mencionan debido a que podemos empezar a concluir que la aplicación de cal agrícola, estadísticamente no tiene influencia en el peso de 100 granos de frijol. Ahora si hablamos del “Factor B”, podríamos decir que de las combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio evaluadas, no existe una estadísticamente superior, con respecto al peso de 100 granos.

Cuadro 14. Prueba de medias para la variable “Peso de 100 gramos” y fuente de variación “Localidad”

Localidad	Medias	E.E.	Literales		
El Suj	26.06	0.32	A		
Los Lucas	25.02	0.32		B	
El Pino	25.01	0.32		B	
Los Regadillos	24.04	0.32		B	C
El Manzanillo	23.95	0.32			C

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una prueba múltiple de medias para “Localidad”, según LSD Fisher, con un alfa del 5%. La prueba de medias formó tres grupos estadísticos, en donde claramente aparece en primer lugar la localidad de El Suj, Aguacatán con una media de “peso de 100 gramos” de 26.06 gramos. El segundo grupo formado está conformado por las localidades de: Los Lucas, Todos Santos C.; El Pino, Chiantla y Los Regadillos, Chiantla; aunque esta última localidad también pertenece al último grupo con El Manzanillo, Aguacatán. La diferencia entre la primer localidad y la última es de 2.11 gramos.

6.3.2. Número de granos por vaina

Cuadro 15. Análisis de la varianza para la variable “Número de granos por vaina”

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	16506.49	<0.0001
Localidad	4	10	10.07	0.0016
Factor.A	1	10	0.09	0.7747
Factor.B	11	220	2.06	0.0242
Localidad:Factor.A	4	10	0.8	0.5505
Localidad:Factor.B	44	220	1.17	0.2323
Factor.A:Factor.B	11	220	3.36	0.0003
Localidad:Factor.A:Factor.B	44	220	0.81	0.7954

Fuente: Elaboración propia

El cuadro de análisis de la varianza para “Número de granos por vaina” muestra que existe diferencia estadística para “Localidad” ($p=0.0016$), “Factor B” y “Factor A*Factor B” ($p=0.0003$). Lo importante en la significancia para la doble interacción es que existe al menos un tratamiento que es mejor estadísticamente, con respecto al número de granos por vaina. Aunque existe diferencia estadística para “Factor B”, no se realizó prueba de medias para esta fuente de variación, debido a que existe diferencia estadística para la doble interacción “Factor A*Factor B”. Las pruebas de medias se muestran a continuación:

Cuadro 16. Prueba de medias para la variable “Número de granos por vaina” y fuente de variación “Localidad”

Localidad	Medias	E.E.	Literales	
El Pino	6.26	0.1	A	
Los Lucas	6.17	0.1	A	
Los Regadillos	6.17	0.1	A	
El Suj	5.64	0.1		B
El Manzanillo	5.57	0.1		B

Fuente: Elaboración propia

La prueba de medias formó dos grupos estadísticos, el primero conformado por las localidades: El Pino, Los Lucas y Los Regadillos y el segundo conformado por: El Suj y El Manzanillo. En el cuadro las medias de “Número de granos por vaina” aparecen con decimales, aunque esta se considera como una variable “Discreta”, por lo que se redondearán estos datos; de tal manera que para el primer grupo estadístico la media es de 6 granos por vaina y para el segundo es de 5 granos por vaina.

Cuadro 17. Prueba de medias para la variable “Número de granos por vaina” y fuente de variación “Factor A*Factor B”

Factor.A	Factor.B	Medias	E.E.	Literales						
Sin cal	50-20-50	6.33	0.17	A						
Sin cal	100-20-100	6.33	0.17	A						
Con cal	100-60-50	6.33	0.17	A						
Con cal	100-40-100	6.27	0.17	A						
Sin cal	50-60-100	6.27	0.17	A						
Sin cal	100-40-100	6.2	0.17	A	B					
Sin cal	50-40-100	6.13	0.17	A	B	C				
Con cal	100-20-100	6.13	0.17	A	B	C				
Con cal	100-40-50	6.13	0.17	A	B	C				
Con cal	50-20-100	6.07	0.17	A	B	C	D			
Con cal	100-60-100	6	0.17	A	B	C	D	E		
Con cal	50-60-50	6	0.17	A	B	C	D	E		
Sin cal	50-20-100	6	0.17	A	B	C	D	E		
Con cal	50-40-50	6	0.17	A	B	C	D	E		
Sin cal	100-40-50	5.8	0.17		B	C	D	E	F	
Sin cal	100-20-50	5.8	0.17		B	C	D	E	F	
Sin cal	100-60-50	5.8	0.17		B	C	D	E	F	
Con cal	100-20-50	5.73	0.17			C	D	E	F	
Con cal	50-60-100	5.73	0.17			C	D	E	F	
Con cal	50-20-50	5.67	0.17				D	E	F	
Sin cal	50-40-50	5.67	0.17				D	E	F	
Con cal	50-40-100	5.6	0.17					E	F	
Sin cal	50-60-50	5.6	0.17					E	F	
Sin cal	100-60-100	5.47	0.17						F	

Fuente: Elaboración propia

La prueba de medias para la doble interacción “Factor A*Factor B” formó seis grupos estadísticos. El primer grupo con la literal “A” está formado por 14 tratamientos o combinaciones, donde la media es de 6 granos por vaina, tomando en cuenta que esta es una variable discreta. Hay que tomar en cuenta que algunos de estos tratamientos se repiten en otros grupos estadísticos.

6.3.3. Número de vainas por planta

Cuadro 18. Análisis de la varianza para la variable “Número de vainas por planta”

Fuentes de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	3168.32	<0.0001
Localidad	4	10	30.14	<0.0001
Factor.A	1	10	1.21	0.2965
Factor.B	11	220	1.02	0.4257
Localidad:Factor.A	4	10	1.01	0.4468
Localidad:Factor.B	44	220	0.61	0.9725
Factor.A:Factor.B	11	220	1.64	0.0896
Localidad:Factor.A:Factor.B	44	220	1	0.4798

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la varianza muestra que existe diferencia estadística significativa únicamente para la fuente de variación “Localidad” ($p = <0.0001$). También podemos decir que al no existir diferencia significativa para el “Factor A”, la aplicación de Cal agrícola no produce número de vainas por planta estadísticamente superior, comparado cuando no se aplica. Por otro lado al no existir diferencia significativa para el “Factor B”, se puede decir que no existe una combinación de nitrógeno, fósforo y potasio estadísticamente superior al resto, cuando hablamos de la variable número de vainas por planta.

Cuadro 19. Prueba de medias para la variable “Número de vainas por planta” y fuente de variación “Localidad”

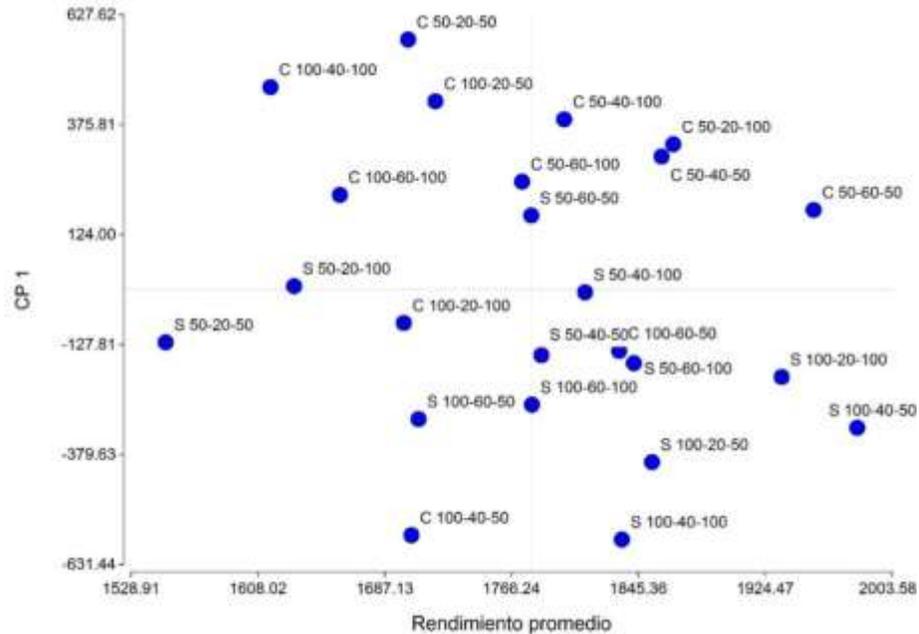
Localidad	Medias	E.E.	Literales		
Los Regadillos	25.19	0.81	A		
Los Lucas	25.19	0.81	A		
El Pino	18.85	0.81		B	
El Manzanillo	16.9	0.81		B	C
El Suj	16.06	0.81			C

Fuente: Elaboración propia

La prueba de medias LSD Fisher con un alfa del 5% separó tres grupos estadísticos. El primero está formado por las localidades Los Regadillos y Los Lucas, el segundo por El Pino y El Manzanillo, aunque esta última localidad también forma parte del tercer grupo estadístico, juntamente con El Suj. El primer grupo estadístico tiene una media de 25 vainas por planta, comparado con el segundo que tiene una media de 17 vainas por planta y el último grupo 16 vainas por planta.

6.4. Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo AMMI (1)

Gráfica 2. Biplot de la Interacción tratamiento-ambiente con el modelo AMMI (1)



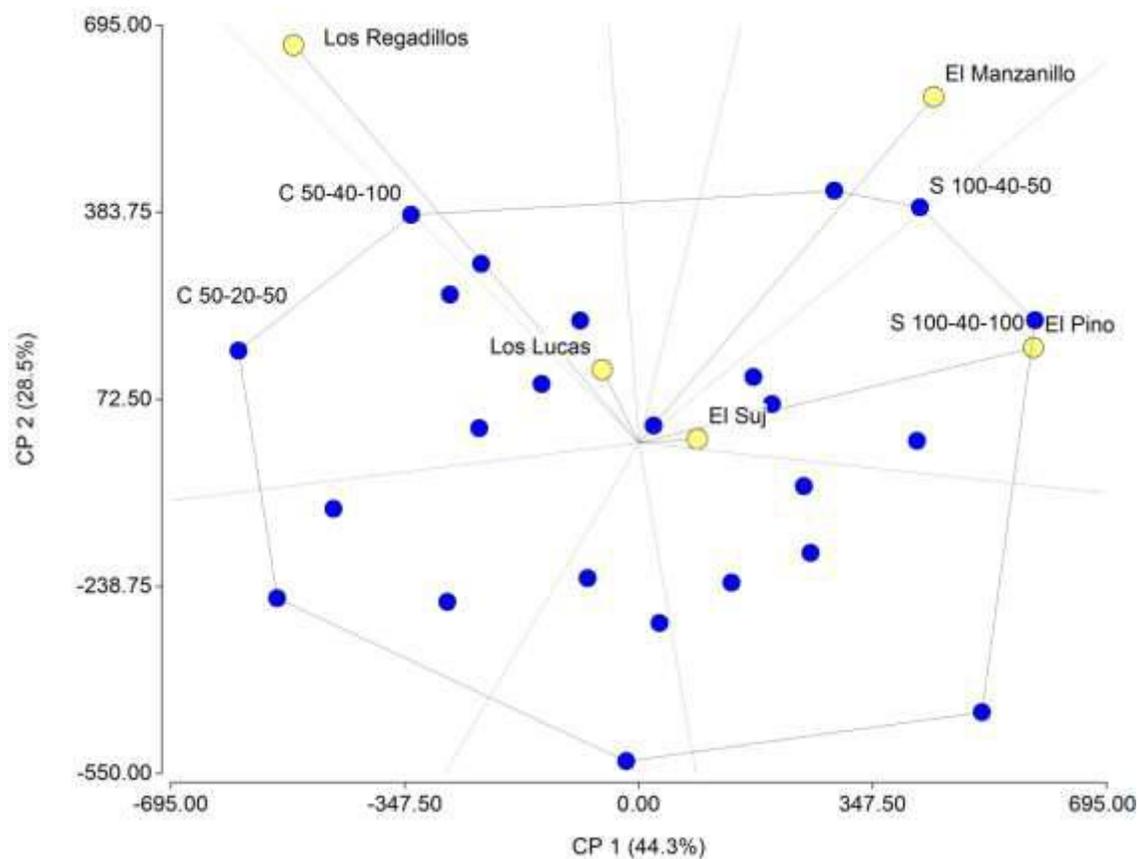
Fuente: Elaboración propia

El modelo Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI 1) nos ayuda a interpretar la estabilidad de una tecnología, en este caso el tratamiento o la fórmula química de NPK y también el rendimiento del tratamiento evaluado. Basándonos en la Figura 6. Podemos mencionar que los tratamientos con mejor estabilidad fueron los siguientes: Sin cal 50-40-100, Sin cal 50-20-100 y Con cal 100-20-100. Por otro lado los tratamientos con mejor rendimiento fueron los siguientes: Sin cal 100-40-50, Con cal 50-60-50 y Sin cal 100-20-100.

6.5. Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo SREG-GGE

El análisis de regresión por sitios separa tres mega ambientes; el primero está conformado por Los Regadillos y Los Lucas, el segundo únicamente conformado por El Manzanillo y el tercero por El Pino y El Suj. Con base en el biplot GGE (Figura 7) se puede concluir que para el primer mega ambiente estadísticamente se recomienda el tratamiento “Con cal 50-40-100”, para la localidad El Manzanillo se recomienda el tratamiento “Sin cal 100-40-50” y para el tercer mega ambiente conformado por El Pino y El Suj, el tratamiento “Sin cal 100-40-100”. Ahora bien, el tratamiento que puede recomendarse para las cinco localidades es el “Sin cal 50-40-100”, debido a que se encuentra en el centro de todas las localidades.

Gráfica 3. Biplot GGE del modelo SREG para los ambientes y tratamientos evaluados



Fuente: elaboración propia.

6.6. Análisis económico

Haciendo uso de los resultados obtenidos en el análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”, AMMI 1 y SREG-GGE; se identificaron los mejores tratamientos desde el punto de vista de la “estabilidad” y el “rendimiento”, siendo estos nueve, los cuales aparecen en el Cuadro 22 del presupuesto parcial. El objetivo del análisis económico fue identificar los mejores tratamientos, tomando en cuenta los costos y los ingresos que estos generaron.

6.6.1. Presupuesto parcial

Como primer paso para iniciar el presupuesto parcial es calcular los costos que varían para cada tratamiento en estudio. Estos costos se definen como “...costos (por hectárea) relacionados con los insumos compramos, la mano de obra y la maquinaria, que varían de un tratamiento a otro” (CIMMYT, 1988). En tal sentido, se calcularon los costos para los nueve tratamientos que fueron elegidos. Asimismo se calculó el beneficio bruto, el cual es el resultado de combinar el rendimiento ajustado con el precio del frijol, en este caso. Una vez teniendo los datos de los “Costos variables totales” y “Beneficios brutos” para cada tratamiento, se calculó el ingreso neto, el cual es el resultado de la resta de los anteriores.

Cuadro 20. Presupuesto parcial para los tratamientos seleccionados

Tratamiento	Media de rendimiento (Kg/ha)	Factor de ajuste	Rendimiento ajustado (kg/ha)	Precio frijol cosecho (Q/kg)	Beneficios brutos (Q/ha)	Costos variables totales (Q)	Ingreso neto (Q)
Con cal 50-60-50	2053.71	0.9	1848.339	11	20331.72	10047.18	10.284.55
Sin cal 100-20-100	2008.02	0.9	1807.218	11	19879.39	12396.92	7.482.47
Sin cal 100-40-50	1963.55	0.9	1767.195	11	19439.14	10739.99	8.699.16
Sin cal 100-20-50	1925.56	0.9	1733.004	11	19063.04	12118.26	6.944.79
Sin cal 50-60-100	1923.07	0.9	1730.763	11	19038.39	4385.25	14.653.14
Con cal 50-20-50	1883.38	0.9	1695.042	11	18645.46	11883.78	6.761.68
Con cal 50-20-100	1874.28	0.9	1686.852	11	18555.37	12162.45	6.392.92
Con cal 100-60-50	1855.81	0.9	1670.229	11	18372.51	15298.80	3.073.72
Sin cal 100-60-100	1847.18	0.9	1662.462	11	18287.08	9636.87	8.650.21

Fuente: Elaboración propia.

6.6.2. Análisis de dominancia

El análisis de dominancia, se realiza ordenando de menores a mayores los costos variables totales por cada tratamiento. El criterio que se usó para dominar fue el propuesto por CIMMYT en el año 1988, en su “Manual metodológico de evaluación económica”, en donde dice que “...un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos”. Tomando como premisa lo anterior, se dominaron 8 tratamientos; quedando únicamente como “No dominado” el tratamiento “Sin cal 50-60-100”, quien es el que posee los costos variables más bajos (Q. 4,385.25/ha) y los ingresos netos más altos (Q. 14,653.14/ha). Por lo anterior descrito, no fue posible realizar la curva de beneficios netos y el análisis de la tasa marginal de retorno a capital. Los resultados se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Análisis de dominancia para los tratamientos seleccionados

Tratamiento	Costos variables totales (Q/ha)	Ingreso neto (Q/ha)	Dominancia
Sin cal 50-60-100	Q4,385.25	Q14,653.14	ND
Sin cal 100-60-100	Q9,636.87	Q8,650.21	D
Con cal 50-60-50	Q10,047.18	Q10,284.55	D
Sin cal 100-40-50	Q10,739.99	Q8,699.16	D
Con cal 50-20-50	Q11,883.78	Q6,761.68	D
Sin cal 100-20-50	Q12,118.26	Q6,944.79	D
Con cal 50-20-100	Q12,162.45	Q6,392.92	D
Sin cal 100-20-100	Q12,396.92	Q7,482.47	D
Con cal 100-60-50	Q15,298.80	Q3,073.72	D

Fuente: Elaboración propia

Está claro que económicamente el mejor tratamiento es “Sin cal 50-60-100”, por tener los costos variables más bajos e ingresos netos más altos. Sin embargo existe otro tratamiento que aunque fue “Dominado” es importante ponerle bastante atención, este es “Con cal 50-60-50”. Los argumentos son los siguientes:

- a) Según la prueba de medias para la variable “Rendimiento”, el tratamiento “Con cal 50-60-50” se encuentra en el primer grupo estadístico; teniendo el rendimiento más alto con una media de 2,053.71 kg/ha.
- b) De los nueve tratamientos analizados económicamente, cuatro de ellos tienen el agregado de cal y en este grupo el tratamiento “Con cal 50-60-50” posee los costos variables totales más bajos (Q. 10,047.18/ha) y los ingresos netos más altos (Q. 10,284.55/ha). La diferencia de beneficios netos entre el tratamiento “Sin cal 50-60-100” y “Con cal 50-60-50” es de Q. 4,368.59/ha. La razón por la que el tratamiento “Con cal 50-60-50” posee costos variables relativamente bajos, es debido a que hace uso de niveles de nitrógeno fósforo y potasio bajos, comparado con el resto de tratamientos.
- c) El tratamiento “Con cal 50-60-50” tiene el agregado del cal, la cual ayuda a contrarrestar el efecto negativo del pH ácido en los suelos, haciendo más disponibles los macronutrientes a las plantas, también aumenta la actividad biológica y tiende a mejorar la estructura del suelo (Cano, 2014). Es importante mencionar que los efectos de la cal en el suelo no son tangibles de forma inmediata, sino que se ven de mejor forma a mediano y largo plazo. Además por ser el cultivo de frijol arbustivo de ciclo corto los efectos de la cal no son perceptibles por completo.

6.7. Selección de la tecnología a validar

Con base en los resultados obtenidos en el análisis económico realizado a los nueve tratamientos seleccionados y especialmente al análisis de dominancia, se determinó que el mejor tratamiento es “Sin cal 50-60-100”, con un costo variable total de Q. 4,385.25/ha y un beneficio neto de Q. 14,653.14/ha. Sin embargo existe otro tratamiento al cual hay que ponerle bastante atención el cual es “Con cal 50-60-50”, debido a los argumentos presentados en los incisos, a, b y c del párrafo anterior, principalmente por el uso de cal agrícola y los beneficios que esto tiene en el suelo. Por lo tanto, es prudente que estas recomendaciones sean analizadas por el Programa de Frijol del ICTA y posteriormente tomar una decisión para la siguiente etapa del ciclo tecnológico, la etapa de validación de tecnología.

7. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que al incorporar cal agrícola al suelo no se produce un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento, ni en los componentes de este.
- Con base en las pruebas de medias se concluye que existe al menos una combinación de nitrógeno, fósforo y potasio que produce una diferencia estadísticamente significativa en la variable “Granos por vaina”, no así en las variables “Rendimiento”, “Peso de 100 granos” y “Vainas por planta”.
- Los resultados de las pruebas de medias dan a conocer que existe al menos una combinación o tratamiento (Factor A*Factor B) que produce una diferencia estadística significativa en el rendimiento y granos por vaina, no así en peso de cien granos y vainas por planta
- El análisis económico realizado en los tratamientos seleccionados, demuestran que el mejor tratamiento bajo este punto de vista es “Sin cal 50-60-100”, el cual posee los menores costos variables y el mayor ingreso neto por hectárea
- Al igual que el tratamiento “Sin cal 50-60-100”, es importante que se considere para la etapa de validación el tratamiento “Con cal 50-60-50”, tomando en cuenta aspectos como rendimiento, costos variables bajos, ingreso neto alto y el uso de cal agrícola
- Con base en los resultados obtenidos en el análisis de la interacción genotipo-ambiente, los tratamientos con mejor estabilidad y rendimiento son “Con cal 50-60-50”, “Sin cal 100-20-100” y “Sin cal 100-40-50”.
- El modelo de regresión por sitios, identificó tratamientos ganadores para cada mega ambiente formado. Para las localidades Los Regadillos y Los Lucas, “Con cal 50-40-100”; para El Manzanillo, “Sin cal 100-40-50” y para El Pino y El Suj “Sin cal 100-40-100”

8. Recomendaciones.

- Compartir los resultados de la presente investigación con técnicos del Programa de Frijol del ICTA y analizar el paso a validación de los tratamientos “Sin cal 50-60-100” y “Con cal 50-60-50”.
- Si se concreta la validación de los tratamientos recomendados en la presente investigación, considerar incluir los resultados de las investigaciones en arreglos topológicos llevadas a cabo en el año 2018 en Huehuetenango.
- Realizar otros estudios para evaluar niveles más bajos de nitrógeno y potasio más el agregado de cal agrícola u otra fuente para contrarrestar la acidez del suelo.
- Considerar en futuras investigaciones de similar naturaleza el uso de Nitrato de Potasio debido a su costo elevado, lo cual repercute en los costos totales más altos e ingreso neto menor para una tecnología o tratamiento en estudio

9. Referencias Bibliográficas

- ✓ Cano, M. (2014). México.
- ✓ Cano, M. (2014). *Acidez y Alcalinidad de los Suelos*. México.
- ✓ CIAT. (1972). *Requerimiento de los Elementos Nutricionales del Frijol*. Cali, Colombia.
- ✓ IPNI. (2013). Fosfato Diamónico. Quito, Ecuador.
- ✓ López, M. R. (2013). *Evaluación de ocho niveles de macronutrientes N-P-K, en tres materiales de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Guatemala.
- ✓ Ramírez López, M. (2013). *Evaluación de ocho niveles de macronutrientes N-P-K, en tres materiales de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Guatemala.
- ✓ REDSICTA. (18 de Junio de 2015). *Observatorio Red Sicta*. Obtenido de <http://www.observatorioredsicta.info/>
- ✓ SOPROCAL. (2014). Santiago de Chile.

Anexos



Foto 1. Muestra de un tratamiento, antes de su preparación y aplicación al suelo



Foto 2. Aplicación de la cal agrícola al suelo



Foto 3. Desarrollo del cultivo de frijol, en el ensayo que estuvo ubicado en El Suj, Aguacatán, Huehuetenango



Foto 4. Cosecha del ensayo que estuvo ubicado en Los Lucas, Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

