



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



INFORME FINAL

CRIA REGIÓN OCCIDENTE CADENA DE FRIJOL

“Efecto de dosis de NPK y lombricompost sobre el rendimiento de grano del cultivar de frijol arbustivo ICTA Chorti^{ACM} (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Región Huista de Huehuetenango”

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
Investigadora Principal

T.U. Carlos César Palacios Soto
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 lombricompost sobre el rendimiento de grano del cultivar de frijol arbustivo ICTA Chortí^{ACM} (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Región Huista de Huehuetenango”

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
T.U. Carlos César Palacios Soto

Resumen

Se evaluaron 24 niveles de macronutrientes más la aplicación de lombricompost como mejorador de las condiciones de p^H en 5 localidades, Nueva Esperanza, Nentón; Inchehux, Jacaltenango; Pebil Pam, Jacaltenango; Nojoyá, San Antonio Huista; El Tabacal, Santa Ana Huista; en la Región Huista de Huehuetenango. El objetivo del estudio fue determinar el tratamiento que presentara los mayores rendimientos además de evaluar si la aplicación de lombricompost y la utilización de fertilizantes de reacción ácida tienen algún efecto sobre la disminución de los niveles de p^H en los suelos. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas.

El análisis de la varianza evidenció que al incorporar lombricompost al suelo, esta no produce un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento, ni en los componentes de esta variable; sin embargo ayudó a disminuir el p^H del suelo en cuatro de cinco localidades evaluadas, en un promedio de 0.887 unidades. También es importante mencionar que la materia orgánica brinda otros beneficios al suelo, los cuales se ven de mejor forma a mediano y largo plazo. Asimismo los resultados obtenidos con respecto a las combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Factor B), demuestran que estas producen una diferencia estadística significativa en rendimiento y peso de cien granos, no así en las variables granos por vaina y vainas por planta. Por otro lado, al combinar los niveles de lombricompost con los de nitrógeno, fósforo y potasio (Factor A*Factor B), el análisis de los datos demuestra que existe diferencia estadística entre estas combinaciones y las mejores muestran un incremento significativo en el rendimiento.

Por último, los resultados obtenidos en el análisis económico reflejan que el mejor tratamiento fue “Sin lombricompost 100-20-50”, el cual posee los menores costos variables y el mayor ingreso neto, Q. 2,002.44/ha y Q. 25,294/ha, respectivamente. Este último en conjunto con el tratamiento “Con lombricompost 50-20-50”, seleccionado por aspectos como rendimiento, costos variables bajos, ingreso neto alto y el uso de lombricompost; se recomiendan ser analizados para pasar a validación de tecnología.

"Effect of doses of NPK and vermicompost on the yield of the cultivar of shrub bean ICTA Chorti^{ACM} (Phaseolus vulgaris L.) in the Huista Region of Huehuetenango"

Ing. Agr. Oscar Antonio Xutuc Castillo
T.U. Carlos César Palacios Soto

Abstract

24 levels of macronutrients plus the application of vermicompost were evaluated as an improvement of the pH conditions in 5 localities, Nueva Esperanza, Nentón; Inchehux, Jacaltenango; Pebil Pam, Jacaltenango; Nojoyá, San Antonio Huista; El Tabacal, Santa Ana Huista; in the Huista Region of Huehuetenango. The objective of the study was to determine the treatment that presented the highest yields in addition to evaluating whether the application of vermicompost and the use of acid reaction fertilizers have any effect on the decrease of pH levels in soils. A randomized complete block design with factorial arrangement in divided plots was used.

The analysis of the variance showed that when incorporating vermicompost into the soil, it does not produce a statistically significant increase in yield, nor in the components of this variable; however, it helped to lower the pH of the soil in four of the five locations evaluated, an average of 0.887 units. It is also important to mention that organic matter provides other benefits to the soil, which are best seen in the medium and long term. Likewise, the results obtained with respect to the combinations of nitrogen, phosphorus and potassium (Factor B), show that these produce a significant statistical difference in yield and weight of one hundred grains, but not in the variables grains per pod and pods per plant. On the other hand, when combining the levels of vermicompost with those of nitrogen, phosphorus and potassium (Factor A * Factor B), the analysis of the data shows that there is statistical difference between these combinations and the best ones show a significant increase in yield.

Finally, the results obtained in the economic analysis show that the best treatment was "Without lombricompost 100-20-50", which has the lowest variable costs and the highest net income, Q. 2,002.44 / ha and Q. 25,294 / ha , respectively. The latter in conjunction with the treatment "Vermicompost 50-20-50", selected for aspects such as yield, low variable costs, high net income and the use of vermicompost; they are recommended to be analyzed to pass to the validation phase

Contenido

1. Introducción	7
2. Marco teórico	7
3. Objetivos	10
4. Hipótesis	10
5. Metodología	10
5.1 Localidad y época (s)	10
5.2 Diseño experimental	10
5.3 Tratamientos	11
5.4 Tamaño de la unidad experimental	12
5.5 Modelo estadístico	12
5.6 Variables de respuesta	12
5.7 Análisis de la información	15
5.8 Manejo del experimento	15
6. Resultados	18
6.1 Cuadro resumen de significancia	18
6.2 Supuestos de la varianza	18
6.3 Análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”	19
6.4 Análisis de la varianza para los componentes de rendimiento	21
6.5 Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo AMMI (1) ...	24
6.6 Análisis de la interacción tratamiento-ambiente con el modelo SREG-GGE	24
6.7 Análisis económico	25
7. Conclusiones	27
8. Recomendaciones	28
9. Bibliografía	28
Anexos	29

1. Introducción

El frijol común es la leguminosa más importante para consumo directo en el mundo y constituye una fuente importante de proteína en la dieta de muchos países en desarrollo (Jones, 2000). La mayoría de la población guatemalteca basa su alimentación en el consumo de maíz y frijol. Este último en nuestro país representa una de las fuentes de proteínas y carbohidratos de más fácil acceso para el guatemalteco, principalmente en el área rural y en la población urbana de escasos recursos económicos (Lemus, 1986). El principal departamento productor de frijol es Petén (27%) 1,398,000 qq (139,800 t.); por su parte Huehuetenango (4.1%) con 212,176 qq (21,217.6 t.) producidos en el ciclo 2015-2016 (DIPLAN, 2017). Sin embargo esta producción no es suficiente para cubrir la demanda de frijol por parte de los guatemaltecos y debido a esto, la importación de frijol se ha convertido en una practica recurrente. Por tal motivo es de suma importancia la generación de nuevas tecnologías para los productores de frijol del área de Huehuetenango. Al ser uno de los departamentos con mayores índices de desnutricion cronica hace que el uso de variedades como ICTA Chortí ^{ACM}, con altas partes por millon de hierro (mineral importante en el combate de la malnutricion) sea una herramienta en contra de la desnutrición cronica presente en el area rural.

Por lo tanto, la generación de recomendaciones específicas para el área donde se siembra el frijol son de gran valor, ya que estas recomendaciones repercutirían directamente en los rendimientos. En la región Huista de Huehuetenango el valor del p^H del suelo es alto, con altas concentraciones de carbonatos de calcio y con valores de 8 unidades o inclusive más en la escala del p^H , esto representa una limitante en la producción del frijol ya que los valores adecuados para la disponibilidad de los nutrientes y la producción se ecuentra entre 6 y 7 unidades. Esta investigación genera una recomendación en la cual el uso de lombricompost y fertilizantes de reacción ácida se presentan como una alternativa para el control de p^H alto y el incremento de la producción.

2. Marco teórico

2.1 Importancia del frijol en Guatemala

Carrillo E. citado por (Mas Guillén, 2007) determina que el frijol común es una de las leguminosas comestibles más importantes, debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser un suplemento nutricional en la dieta alimenticia de los habitantes de Centro y Sur América. Para los guatemaltecos, especialmente para aquellos de escasos recursos económicos, el frijol es importante para la dieta, contiene entre 15 y 27% de proteína. El frijol de color negro es el preferido y es un cultivo sembrado por los agricultores de bajos recursos económicos y utilizados principalmente en suelos marginales y frecuentemente en asociación con otros cultivos. (Mas Guillén, 2007). Por esta razón el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) ha venido generando materiales genéticos que sean más resistentes y que proporcionen cantidades de carbohidratos y proteínas más altas (Biofortificados) con el fin de proporcionar opciones en la batalla contra la desnutrición presente en el país y en este caso serán utilizados en el departamento de Huehuetenango que ha sido priorizado como uno con los niveles más altos de desnutrición.

2.2 Variedad ICTA Chortí^{ACM}

Esta variedad es producto de una cruce, realizada por el programa de frijol, en el centro de investigaciones del oriente CIOR-Jutiapa, con la colaboración del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), dentro de las actividades del Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centro América, México y el Caribe. Se adapta a alturas desde 0 a 1200 msnm. Esta variedad presenta mayor contenido de hierro en su grano, (aproximadamente 75 ppm, en comparación de 40 a 50 que presentan otras variedades) tolerancia a la enfermedad provocada por el mosaico dorado amarillo del frijol y condiciones de sequía.

2.3 Requerimientos edáficos del cultivo del frijol

El cultivo de frijol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son las medias o moderadamente pesadas, con buena aireación y drenaje, ya que es un cultivo que no tolera suelos compactos, la poca aireación y acumulación de agua. El p^H óptimo fluctúa entre 6.0 y 7.0; dentro de este rango la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol presenta problemas absorbiendo los nutrientes en suelos alcalinos con presencia de calcio.

2.4 Factores limitantes para el cultivo del frijol

Deficiencia de Macronutrientes

Cantidades inadecuadas de Nitrógeno producen bajos niveles de proteína en la semilla y puntos vegetativos de la planta. Las plantas deficientes en N tienden a atrofiarse y crecen más lentamente. También presentan menor número de hojas y en algunos cultivos pueden producir madurez prematura comparadas con las plantas con cantidades adecuadas de N, también un amarillamiento característico, Este amarillamiento comienza primero en las hojas más viejas, luego se muestra en las más jóvenes, a medida que la deficiencia se hace más severa. (Foundation for Agronomic Research, 1988)

En cuanto al fósforo es probablemente el principal problema nutricional del frijol en América Latina. Las plantas de frijol deficientes en fósforo son raquíticas, tienen pocas ramas y las hojas bajas se vuelven amarillas y necróticas antes de alcanzar la madurez. Las hojas superiores suelen ser pequeñas y de color verde oscuro. La deficiencia de fósforo reduce la floración y afecta la maduración. Las aplicaciones de fósforo hacen que la plantas sean más altas y más vigorosas. (CIAT, 1980).

Por otra parte, los síntomas típicos de deficiencia de potasio son amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes foliares. Estos síntomas aparecen primero en las hojas bajas y gradualmente se extienden hacia arriba. Manchas necróticas pueden presentarse en algunos casos de deficiencia muy marcada. Los tallos son débiles y el vuelco de las plantas es común. Las semillas de los frutos son pequeños y arrugados, y las plantas presentan una resistencia baja a las enfermedades (CIAT, 1980).

El potencial de Hidrógeno (p^H)

El p^H influye en las propiedades físicas y químicas del suelo, en suelos con un p^H alcalino la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.

La asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por el p^H , ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de p^H y no son asimilables para las plantas. En el caso del cultivo del frijol donde los macronutrientes (N-P-K) son muy importantes, es de suma importancia el control del p^H , ya que dichos elementos pueden no estar disponibles en estas condiciones de alcalinidad.

Suelos Alcalinos

Suelos alcalinos son suelos de reacción alcalina debido a la predominancia de elementos alcalinos y alcalino-térreos, en sus componentes minerales: Ca, Mg, Na. Entre los suelos alcalinos se encuentran los suelos sódicos, los salino-sódicos y los calcáreos.

Algunos suelos calcáreos de regiones con poca precipitación pluvial contienen generalmente acumulaciones de cal en algunos puntos del perfil. Cuando la zona de acumulación de cal tiene lugar a la profundidad de alta concentración de raíces puede constituir un factor importante en la nutrición de la planta.

2.5 Métodos para la reducción del pH en suelos Calcáreos

Uso de materia orgánica

La incorporación de materia orgánica hará los suelos reducir su p^H debido a la actividad microbiana y la producción de ácidos orgánicos que estos producen ácidos orgánicos tiene la capacidad de solubilizar fosfatos mediante la complejación de calcio, aluminio y hierro, dejando, así, al ión fosfato en estado soluble. La principal fuente de ácidos orgánicos en el suelo es la descomposición de materia orgánica. La materia orgánica del suelo, se encuentra predominantemente cargada en forma negativa, por lo que los ácidos orgánicos forman con cationes hidroxilados tales como $Fe(OH)_2$ y $Al(OH)_2$ combinaciones complejas que inmovilizan estos iones dejando en libertad los iones fosfatos. Por esta razón, la agregación de lombricompost y otros compuestos orgánicos favorecen la asimilación del fósforo e incrementan el contenido de P-disponible en los suelos. (Orsag, 2002).

Uso de fertilizantes de reacción ácida

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados tiene efecto sobre la acidez del suelo incluidos: urea, nitrato de amonio y sulfato Diamónico. Generalmente, los cultivos prefieren un p^H entre 6 y 7, debido a que este valor permite la máxima disponibilidad de nutrientes. Las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el p^H . En particular, los fertilizantes amoniacales como la urea y los fosfatos mono- y Diamónico, son rápidamente convertidos en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo. Las bacterias en el suelo, que pueden ser aportadas por la materia orgánica, convierten el amonio en compuestos ácidos. Fertilizantes con amonio son convenientes en su uso por que simultáneamente fertilizan las plantas y acidifican el suelo. Hay menor riesgo de reducir el p^H demasiado con el uso de fertilizantes de reacción ácida que con el uso de azufre elemental. Los fertilizantes de reacción ácida pueden ser utilizados con plantas que prefieren un p^H ácido, ayudando a mantener dicho nivel bajo. El sulfato de amonio es dos o tres veces más ácido por libra que otros de los fertilizantes nitrogenados utilizados comúnmente. (Urbina, 2005)

3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de N-P-K y lombricompost en el rendimiento de frijol arbustivo, cultivar ICTA Chortí^{ACM} en la Región Huista de Huehuetenango.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la aplicación de diferentes niveles de macronutrientes N-P₂O₅-K₂O, con y sin el agregado de lombricompost como mejorador de las condiciones de p^H en el suelo, sobre el rendimiento del cultivo de frijol arbustivo.
- Determinar el efecto de los diferentes tratamientos, sobre las características agronómicas y componentes de rendimiento del frijol variedad ICTA Chortí^{ACM}, en la región Huista de Huehuetenango.
- Determinar los tratamientos de fertilización N-P₂O₅-K₂O, con y sin el agregado de lombricompost que presenten el mayor beneficio-costos en el cultivo de frijol arbustivo variedad ICTA Chortí^{ACM}

4. Hipótesis

H₀₁: La combinación de diferentes niveles de macronutrientes (N-P-K) y lombricompost como mejorador de las condiciones de pH en el suelo a evaluar no producen ningún efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento del cultivo de frijol variedad ICTA Chortí^{ACM}.

H₀₂: La combinación de diferentes niveles de macronutrientes (N-P-K) y lombricompost como mejorador de las condiciones de pH en el suelo a evaluar no producen ningún efecto estadísticamente significativo sobre los componentes de rendimiento del cultivo de frijol variedad ICTA Chortí^{ACM}.

H₀₃: Los tratamientos de fertilización con y sin lombricompost a evaluar tendrán el mismo efecto económico, aplicando la técnica del presupuesto parcial.

H₀₄: Los valores de pH de los suelos no tendrán una variación en los valores después de la investigación.

5. Metodología

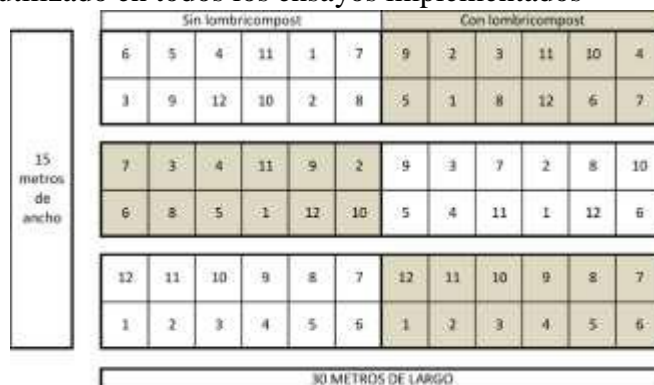
5.1 Localidad y época (s)

Se establecieron un total de cinco ensayos en la Región Huista en el Departamento de Huehuetenango concretamente en los municipios de Nentón, San Antonio Huista, Santa Ana Huista y Jacaltenango, en comunidades comprendidas en un rango altitudinal de 700 a 1,200 msnm entre los meses de diciembre (2017) – septiembre de 2018.

5.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas. Este tipo de diseño se usa frecuentemente en experimentos con más de un factor tratamiento y donde existen restricciones de aleatorización que impiden la asignación aleatoria de los tratamientos (combinación de factores) a las unidades experimentales. Son útiles cuando uno de los factores necesita, para ser evaluado, parcelas o unidades experimentales grandes y el otro factor se puede evaluar sobre unidades más pequeñas (subunidades).

Figura 1. Croquis utilizado en todos los ensayos implementados



Fuente: Elaboración propia

5.3 Tratamientos

Para la formulación de las dosis de macronutrientes que se emplearon en el experimento se tomó como referencia los requerimientos del cultivo que aparecen en la literatura, de una forma elemental multiplicándose por el factor de conversión para obtenerlos en la manera que son absorbidos por las plantas en forma de óxido (P205, k20, N).

Cuadro 1. Niveles sugeridos de macronutrientes y lombricompost en esta investigación.

N	50 Kg./Ha.	P	20Kg./Ha.	K	50kg./Ha.	Lombricompost	5 t/ha
	100Kg./Ha.		40 kg./Ha.		100Kg./Ha.		0 t/ha.
			60Kg./Ha.				

Fuente: Elaboración propia

La combinación de estos niveles se hizo de tal manera que ningún tratamiento se repitiera más de una vez. La combinación de los factores se realizó de la siguiente manera:

Donde:

N1, N2, son los niveles sugeridos de Nitrógeno

P1, P2, P3, son los niveles sugeridos para Fósforo

K1, K2, son los niveles sugeridos para Potasio.

Lombricompost, niveles sugeridos de éste, en toneladas por hectárea.

Cuadro 2. Combinación de niveles de macronutrientes sin lombricompost.

			Tratamientos
N1	P1	K1	N1P1K1 Sin lombricompost
N1	P1	K2	N1P1K2 sin lombricompost
N1	P2	K1	N1P2K1 sin lombricompost
N1	P2	K2	N1P2K2 sin lombricompost
N1	P3	K1	N1P3K1 sin lombricompost
N1	P3	K2	N1P3K2 sin lombricompost
N2	P1	K1	N2P1K1 sin lombricompost
N2	P1	K2	N2P1K2 sin lombricompost
N2	P2	K1	N2P2K1 sin lombricompost
N2	P2	K2	N2P2K2 sin lombricompost
N2	P3	K1	N2P3K1 sin lombricompost
N2	P3	K2	N2P3K2 sin lombricompost

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Combinación de niveles de macronutrientes con lombricompost.

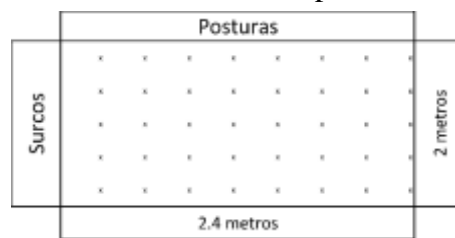
			Tratamientos
N1	P1	K1	N1P1K1+lombricompost
N1	P1	K2	N1P1K2 +lombricompost
N1	P2	K1	N1P2K1 +lombricompost
N1	P2	K2	N1P2K2 +lombricompost
N1	P3	K1	N1P3K1+lombricompost
N1	P3	K2	N1P3K2+lombricompost
N2	P1	K1	N2P1K1+lombricompost
N2	P1	K2	N2P1K2 +lombricompost
N2	P2	K1	N2P2K1 +lombricompost
N2	P2	K2	N2P2K2 +lombricompost
N2	P3	K1	N2P3K1 +lombricompost
N2	P3	K2	N2P3K2 +lombricompost

Fuente: Elaboración propia

5.4 Tamaño de la unidad experimental

Cada unidad experimental tuvo un área total de 4.8 m² y estuvo constituida por 5 surcos a una distancia de 0.40 m entre ellos y por 8 plantas por surco a una distancia de 0.30 m entre ellas, utilizando 3 semillas por postura, obteniendo como resultado una población de 120 plantas de frijol por unidad experimental.

Figura 2. Dimensiones y orientación de una unidad experimental.



Fuente: Elaboración propia

5.5 Modelo estadístico

El modelo lineal para un Diseño de bloques al azar con arreglo factorial en parcelas divididas es:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Obs. de la unidad experimental.
- μ = Media general del ensayo.
- γ_k = Efecto de los bloques.
- τ_i = Efecto del tratamiento T de la parcela.
- $(\gamma\tau)_{ki}$ = Error de la parcela [$E_{(k)}$].
- β_j = Efecto del tratamiento β de la subparcela.
- $(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela y subparcela.
- ε_{ijk} = Error de la subparcela [$E_{(0)}$].

5.6 Variables de respuesta

- **Número de vainas por planta.** Para la recopilación de datos se tomaron al azar 10 plantas por unidad experimental y se contó el número de vainas por cada planta sin importar el tamaño y el número de granos por vaina.

Cuadro 4. Número de vainas por planta por tratamiento

Tratamiento	Vainas/ Planta	Tratamiento	Vainas/ Planta
S 50-20-50	13	C 50-20-50	13
S 50-20-100	13	C 50-20-100	13
S 50-40-50	13	C 50-40-50	13
S 50-40-100	12	C 50-40-100	12
S 50-60-50	13	C 50-60-50	13
S 50-60-100	12	C 50-60-100	13
S 100-20-50	13	C 100-20-50	12
S 100-20-100	13	C 100-20-100	14
S 100-40-50	13	C 100-40-50	13
S 100-40-100	12	C 100-40-100	13
S 100-60-50	13	C 100-60-50	13
S 100-60-100	12	C 100-60-100	14

Fuente: Elaboración propia.

- **Rendimiento en toneladas por hectárea (t/ha).** La producción de cada unidad experimental se transformó a toneladas por hectárea estandarizando la humedad al 14 %, esto se realizó para las 3 repeticiones por ensayo experimental y para las 5 localidades donde se sembraron los ensayos.

Cuadro 5. Rendimiento medio por tratamiento y por localidad.

Tratamiento	El Tabacal	Inchehuex	Nojoya	Nueva Esperanza	Pebil Pam	Media (t/ha)
C 100-20-100	2.82	2.85	3.09	3.05	2.93	2.95
C 100-20-50	1.69	1.48	2.52	2.23	1.62	1.91
C 100-40-100	2.7	2.15	3.09	3.04	2.15	2.63
C 100-40-50	2.67	2.34	3.62	3.26	2.45	2.87
C 100-60-100	2.75	2.92	3.24	3.14	3	3.01
C 100-60-50	2.73	2.46	3.01	2.87	2.55	2.72
C 50-20-100	2.79	2.2	3.1	2.96	2.34	2.68
C 50-20-50	2.44	2.97	3.01	2.81	3.03	2.85
C 50-40-100	2.26	2.55	3.82	3.57	2.69	2.98
C 50-40-50	2.95	2.4	2.73	2.58	2.49	2.63
C 50-60-100	1.75	2.06	2.85	2.62	2.05	2.27
C 50-60-50	2.08	2.01	3.01	2.92	2.26	2.46
S 100-20-100	2.2	2.51	3.26	2.52	2.66	2.63
S 100-20-50	2.98	2.71	2.96	2.36	2.77	2.76
S 100-40-100	2.06	2.19	2.76	2.15	2.26	2.28
S 100-40-50	2.5	3.1	2.53	2.29	3.16	2.72
S 100-60-100	2.39	2.03	2.54	2.21	2.14	2.26
S 100-60-50	3.05	2.69	2.26	2.04	2.72	2.55
S 50-20-100	2.45	2.42	2.89	2.39	2.43	2.52
S 50-20-50	3.12	2.32	2.47	2	2.44	2.47
S 50-40-100	3.57	1.36	2.58	1.88	1.21	2.12
S 50-40-50	2.7	2.43	2.26	2.07	2.41	2.38
S 50-60-100	2.2	1.62	2.19	1.71	1.64	1.87
S 50-60-50	3.25	2.58	2.91	2.44	2.63	2.76
Media / Loc	2.59	2.35	2.86	2.55	2.42	2.55
Desviación estándar						0.31

Fuente: Elaboración propia.

- **Número de granos por vaina.** Se tomaron al azar 10 plantas por unidad experimental a las cuales se les contó el número de granos por vaina para realizar posteriormente el promedio que es el dato por unidad experimental.

Cuadro 6. Numero de granos por vaina y tratamiento.

Tratamiento	Granos / Vaina	Tratamiento	Granos / Vaina
S 50-20-50	6	C 50-20-50	6
S 50-20-100	6	C 50-20-100	6
S 50-40-50	6	C 50-40-50	6
S 50-40-100	6	C 50-40-100	6
S 50-60-50	6	C 50-60-50	6
S 50-60-100	5	C 50-60-100	6
S 100-20-50	6	C 100-20-50	7
S 100-20-100	6	C 100-20-100	7
S 100-40-50	6	C 100-40-50	6
S 100-40-100	5	C 100-40-100	6
S 100-60-50	6	C 100-60-50	6
S 100-60-100	5	C 100-60-100	7

Fuente: Elaboración propia.

- **Peso de 100 granos.** Para el cálculo de esta variable se pesaron 100 granos al azar por cada una de las unidades experimentales.

Cuadro 7. Peso de cien granos por tratamiento.

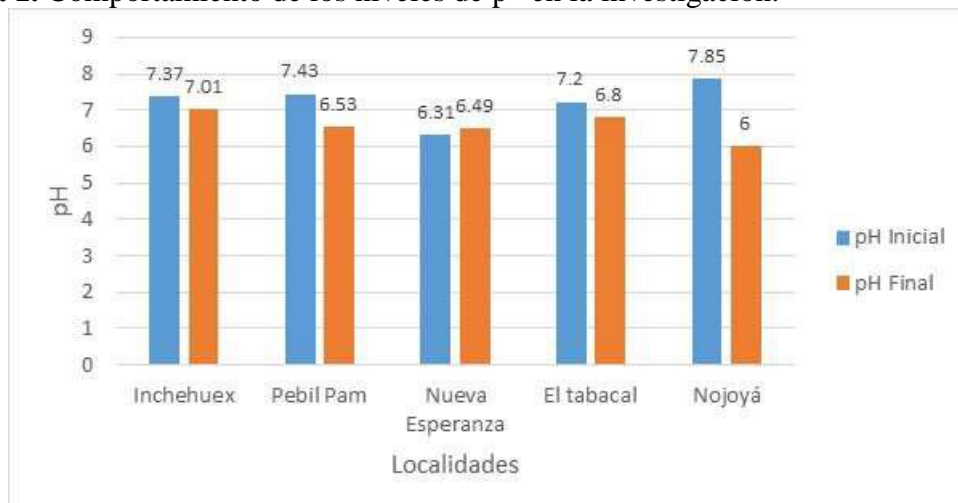
Tratamiento	Peso de 100 granos (g.)	Tratamiento	Peso de 100 granos (g.)
S 50-20-50	26	C 50-20-50	26
S 50-20-100	26	C 50-20-100	26
S 50-40-50	26	C 50-40-50	26
S 50-40-100	26	C 50-40-100	26
S 50-60-50	26	C 50-60-50	26
S 50-60-100	25	C 50-60-100	26
S 100-20-50	25	C 100-20-50	26
S 100-20-100	26	C 100-20-100	27
S 100-40-50	26	C 100-40-50	26
S 100-40-100	26	C 100-40-100	26
S 100-60-50	26	C 100-60-50	26
S 100-60-100	26	C 100-60-100	27

Fuente: elaboración propia.

- **Número de plantas por unidad experimental.** Es de importancia para el análisis del rendimiento debido a que se puede convertir en una covariable y afectar estadísticamente los resultados obtenidos por unidad experimental. Por tal motivo se realizó el conteo de las plantas presentes en cada una de las unidades experimentales.

- **Determinación de pH.** Se tomaron dos muestras de suelo por ensayo, una antes de la siembra y otra después de la cosecha; con el objetivo de determinar si hubo una variación en el pH del suelo.

Grafica 1. Comportamiento de los niveles de p^H en la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

Esta Grafica 1 se presentan los resultados de las dos muestras tomadas para cada uno de los ensayos sembrados, se puede observar el comportamiento del p^H en el ciclo del cultivo en donde en 4 de las 5 localidades el p^H descendió un promedio de 0.8775 unidades; sin embargo, en la localidad de Nueva Esperanza, Nentón el p^H aumento 0.18 unidades, esto podría ser debido a un error en la toma de la muestra o a la actividad química propia del suelo.

5.7 Análisis de la información

La información recabada se analizará por medio del programa InfoStat® (Di Rienzo, A. M. 2009). Haciendo uso de las siguientes metodologías estadísticas:

- Análisis de la varianza por Modelos Lineales Generales y Mixtos.
- Comparación de medias con LSD Fisher
- Estudio de la interacción tratamiento-ambiente y estabilidad con los modelos AMMI (1) y SREG y Biplot GGE.

5.8 Manejo del experimento

El manejo del cultivo se llevó a cabo de acuerdo a las recomendaciones hechas por el ICTA en el Manual Técnico Agrícola para la producción comercial de frijol. (ICTA, 2010)

5.8.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno, para las cinco localidades se hizo de forma manual, haciendo uso del “azadón”, arando el suelo a una profundidad de 30 a 40 centímetros. Los restos de cosecha o malezas que se encontraban dentro del terreno fueron removidos y sacados del mismo.

5.8.2 Época de siembra

La época de siembra varió dependiendo de la localidad, se podría decir que esta actividad estuvo comprendida entre el mes de diciembre 2017 al mes de junio de 2018.

Cuadro 8. Ubicación de los ensayos de finca y fecha de siembra

Localidad	Municipio	Departamento	Fecha de siembra
Inchehuex	Jacaltenango	Huehuetenango	Diciembre 2017
Pebil Pam	Jacaltenango	Huehuetenango	Diciembre 2017
Nojoyá	San Antonio Huista	Huehuetenango	Enero 2018
Nueva Esperanza	Nentón	Huehuetenango	Febrero 2018
El Tabacal	Santa Ana Huista	Huehuetenango	Junio 2018

Fuente: Elaboración propia.

5.8.3 Distanciamiento de siembra

Debido a que los ensayos se implementaron en el trópico bajo de Huehuetenango se sembraron a una distancia de 0.4 metros entre surco y 0.3 metros entre planta, colocando 3 semillas por postura

5.8.4 Manejo de la fertilización

Aplicación de Nitrógeno (sulfato de amonio)

La aplicación de nitrógeno se realizó por medio de sulfato de amonio. Es importante resaltar que la aplicación de fosfato di amónico (DAP) aportó una cierta cantidad de nitrógeno en los diferentes niveles que se manejaron en la investigación por tal motivo en el siguiente cuadro se muestra la cantidad neta utilizada de Nitrógeno por unidad experimental.

Cuadro 9. Cantidad de sulfato de amonio a usar por unidad experimental

Nivel de N	Nivel de P ₂ O ₅	Cantidad Bruta de N (Kg N/UE)	Cantidad de N aportada por DAP (Kg N/UE)	Cantidad Neta de N (Kg N/UE)	Cantidad de (NH ₄) ₂ SO ₄ a usar (Kg/UE)
50 kg/ha	20 kg/ha	0.024	0.0086	0.0154	0.0733
50 kg/ha	40 kg/ha	0.024	0.0172	0.0068	0.0324
50 kg/ha	60 kg/ha	0.024	0.0258	0.0000	0.0000
100 kg/ha	20 kg/ha	0.048	0.0086	0.0394	0.1876
100 kg/ha	40 kg/ha	0.048	0.0172	0.0308	0.1467
100 kg/ha	60 kg/ha	0.048	0.0258	0.0222	0.1057

Fuente: elaboración propia.

Aplicación de Fósforo (DAP)

Para la aplicación de fósforo se utilizó fosfato di amónico -DAP- (18-46-0) el cual conjuntamente con fósforo proporciona Nitrógeno (18%). Por tal motivo esta cantidad de nitrógeno fue restada a la cantidad total que se aplicó con el sulfato de amonio. Como se observa en el siguiente cuadro, el Fósforo presenta 3 niveles de fertilización en los cuales la dosis aportada de Nitrógeno varía.

Cuadro 10. Cantidad de fosfato di amónico a usar por unidad experimental

Nivel de P ₂ O ₅	Cantidad Bruta de DAP (Kg/UE)	Cantidad de N aportada por DAP (Kg N/UE)
20 kg/ha	0.04779	0.0086
40 kg/ha	0.09558	0.0172
60 kg/ha	0.14367	0.0258

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de Potasio (KCl)

Los niveles de Potasio aplicados fueron dos: 50 y 100 kilogramos por hectárea, los cuales ya convertidos a una dosis de fertilizante comercial queda de la siguiente manera:

Cuadro 11. Cantidad de cloruro de potasio a usar por unidad experimental

Nivel de K ₂ O	Cantidad Bruta (kg/UE)
50 kg/ha	0.048
100Kg/ha	0.096

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de Lombricompost

La dosis a utilizadas de lombricompost son las que se muestran en el cuadro siguiente, cabe mencionar que las cantidades utilizadas de lombricompost fueron determinadas por ensayos desarrollados en el ICTA anteriormente.

Cuadro 12. Cantidad de lombricompost a usar por unidad experimental

Nivel de Lombricompost	Cantidad bruta (kg/UE)
5 t/ha	2.88

Fuente: elaboración propia.

5.8.5 Manejo fitosanitario

Esta actividad se llevó a cabo en todo el ciclo del cultivo, utilizando productos para el control de insectos como Monarca® y Karate® a razón de 25 cc de producto por bomba de 16 litros con el objetivo de combatir el virus de mosaico dorado y otros insectos

5.8.6 Manejo de malezas

Esta actividad se llevó a cabo dos veces durante el desarrollo del cultivo, la primera a los 20 días después de la siembra y la segunda a los 40 días después de la siembra, de forma manual.

5.8.7 Toma de datos

Se realizaron durante todo el ciclo del cultivo y al momento de la cosecha.

5.8.8 Cosecha

Esta actividad se realizó cuando la planta del frijol estaba seca con el objetivo de hacer un poco más sencilla la labor de extracción de los granos de frijol de la vaina. Esta actividad varió en localidades debido a la fecha de siembra.

6. Resultados

6.1 Cuadro resumen de significancia

Cuadro 13. Cuadro resumen de significancia por localidad y fuente de variación

Fuentes de variación	El Tabacal, Santa Ana Huista	Inchehuex, Jacaltenango	Nojoyá, San Antonio Huista	Nueva Esperanza, Nentón	Pebil Pam, Jacaltenango
Factor A	0.4596 NS	0.9023 NS	0.2031 NS	0.0309 *	0.9959 NS
Factor B	0.4447 NS	0.1787 NS	0.6039 NS	0.5420 NS	0.1421 NS
Factor A* Factor B	0.0555 NS	0.1452 NS	0.5823 NS	0.8018 NS	0.2275 NS
C.V	23.73	23.72	21.38	21.59	22.76

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 representa al corrector de alcalinidad, en este caso “lombricompost”, Factor B, que representa a la 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” de la localidad de Nueva Esperanza, Nentón. Para el resto de fuentes de variación en las cinco localidades evaluadas no hubo significancia estadística. Así mismo se presentan los coeficientes de variación, siendo este una medida estadística que indica que tan grande es la desviación estándar con respecto a la media o en otras palabras ayuda a comparar la variabilidad que existe entre dos conjuntos de datos y se considera aceptable cuando no sobrepasa el 20% sin embargo los coeficientes de variación obtenidos en ésta investigación sobrepasan dicho porcentaje pero no por mucho, siendo estos aceptables al estar cercanos al 20%.

6.2 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 al enunciado anterior fue importante que estos supuestos de la varianza fueran corroborados, en tal sentido y haciendo uso de la herramienta “Modelos Lineales Generales y Mixtos” y el programa Infostat® se constató que los datos estaban distribuidos de forma normal, independientes y con varianzas homogéneas. Por lo que no fue necesario realizar un ajuste al modelo estadístico.

6.3 Análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”

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 la finalidad de determinar si existía diferencia estadística en algunas de las fuentes de variación. Los resultados de la ANDEVA se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”

Fuentes de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	458.62	<0.0001
Localidad	4	10	0.48	0.7525
Factor A	1	10	1.92	0.1964
Factor B	11	220	3.39	0.0002
Localidad Factor A	4	10	1.93	0.1824
Localidad Factor B	44	220	0.47	0.9983
Factor A * Factor B	11	220	2.86	0.0016
Localidad*FactorA*FactorB	44	220	0.8	0.811

Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados mostrados en los cuadros 14 y 15 podemos concluir que hay alta diferencia estadística significativa para “Factor B” (p-valor= 0.0002) y para “Factor A* Factor B” (p-valor=0.0016). Sin embargo, debido a que existe diferencia estadística para la doble interacción, se tomó la decisión de realizar la prueba de medias únicamente para “Factor A*Factor B”.

Algo importante que hay que mencionar es que para la fuente de variación “Factor A” no existió significancia estadística (p= 0.1964), lo que indica que para esta investigación, la aplicación de lombricompost no produce rendimientos estadísticamente diferentes comparados con la no aplicación de lombricompost. Sin embargo el uso de lombricompost ayuda a mejorar las condiciones del suelo y como se ve en la Gráfica 1, también ayuda a disminuir el valor del pH del suelo. Aunque si se quieren ver resultados más notorios sería bueno continuar con la aplicación de lombricompost al suelo y observar la variación del pH y las condiciones físicas del suelo.

Por otro lado, también se puede observar que para la triple interacción “Localidad*Factor A*Factor B” no hubo diferencia estadística significativa (p= 0.8110), sin embargo más adelante se mostrarán los resultados del análisis de la interacción Tratamiento-Ambiente, en donde haciendo uso de la metodología estadística de “Regresión por sitios” se logra recomendar tratamientos para ambientes o localidades específicas.

Tomando en cuenta los resultados del análisis de la varianza para la variable “Rendimiento”, se procedió a realizar la prueba múltiple de medias para la fuente de variación “Factor A*Factor B”, haciendo uso de la prueba LSD Fisher, con un alfa del 5%. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 15. Prueba de medias para la variable “Rendimiento” y fuente de variación “Factor A*Factor B”

Factor.A	Factor.B	Medias	E.E.	Literales						
Con Lombricompost	100-60-100	3010.56	203.31	A						
Con Lombricompost	100-20-100	2947.21	203.31	A	B					
Con Lombricompost	100-40-50	2867.73	203.31	A	B					
Con Lombricompost	50-20-50	2852.75	203.31	A	B	C				
Sin Lombricompost	50-60-50	2771.73	203.31	A	B	C				
Sin Lombricompost	100-20-50	2757.22	203.31	A	B	C				
Con Lombricompost	50-60-50	2729.25	203.31	A	B	C	D			
Con Lombricompost	100-60-50	2722.85	203.31	A	B	C	D			
Sin Lombricompost	100-40-50	2718.33	203.31	A	B	C	D			
Con Lombricompost	50-20-100	2678	203.31	A	B	C	D			
Sin Lombricompost	100-20-100	2631.06	203.31	A	B	C	D			
Con Lombricompost	50-40-50	2630.08	203.31	A	B	C	D			
Con Lombricompost	100-40-100	2626.48	203.31	A	B	C	D			
Sin Lombricompost	100-60-50	2551.53	203.31	A	B	C	D			
Sin Lombricompost	50-40-100	2538.43	203.31	A	B	C	D			
Con Lombricompost	50-40-100	2530.09	203.31		B	C	D			
Sin Lombricompost	50-20-100	2516.95	203.31		B	C	D			
Sin Lombricompost	50-20-50	2470.59	203.31		B	C	D			
Sin Lombricompost	50-40-50	2375.04	203.31			C	D	E		
Sin Lombricompost	100-40-100	2284.11	203.31				D	E	F	
Con Lombricompost	50-60-100	2266.13	203.31				D	E	F	
Sin Lombricompost	100-60-100	2261.65	203.31				D	E	F	
Con Lombricompost	100-20-50	1910.54	203.31					E	F	
Sin Lombricompost	50-60-100	1871.08	203.31						F	

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro anterior se puede observar que la prueba múltiple de medias formó seis grupos estadísticos, el primer grupo con la literal “A” está conformado por los primeros 15 tratamientos, estando mejor posicionado el tratamiento “Con lombricompost 100-60-100” con una media de 3010.56 kg/ha y quedando en la última posición de este grupo el tratamiento “Sin lombricompost 50-40-100” con una media de 2538.43 kg/ha; la diferencia entre ambos es de 472.13 kg/ha. Cabe mencionar que algunos de estos tratamientos pertenecientes al grupo “A”, también pertenecen a otros grupos estadísticos.

Continuando con el análisis del grupo con la literal “A”, podemos observar que aunque los 15 tratamientos pertenecientes a este grupo son estadísticamente iguales, los primeros cuatro lugares están ocupados por tratamientos que tienen la incorporación de “Lombricompost” con rendimientos superiores a los 2,800 kg/ha. Estos tratamientos en mención, junto con otros fueron los seleccionados para ser analizados desde el punto de vista económico.

6.4 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:

6.4.1 Peso de 100 granos

Cuadro 16. Análisis de la varianza para la variable “Peso de 100 granos”

Fuentes de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	68017.5	<0.0001
Localidad	4	10	1.4	0.3023
Factor.A	1	10	2.64	0.1353
Factor.B	11	220	2.38	0.0084
Localidad:Factor.A	4	10	1.22	0.3607
Localidad:Factor.B	44	220	0.62	0.9684
Factor.A:Factor.B	11	220	0.78	0.6585
Localidad:Factor.A:Factor.B	44	220	0.41	0.9996

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro del análisis de la varianza, se puede observar que la única fuente de variación en donde hubo significancia estadística fue “Factor B”, que representa los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. Es importante resaltar que para la fuente de variación “Factor A” no existió diferencia estadística ($p=0.1353$), lo que nos indica que la aplicación de lombricompost no genera cambios estadísticos significativos en la variable “Peso de 100 granos”, comparado con la no aplicación de esta. Por otro lado, tampoco hubo significancia para “Factor A*Factor B”, por lo que podemos concluir que no existe una combinación que estadísticamente sea superior al resto, hablando de la variable “Peso de 100 granos. Dicho lo anterior, únicamente se realizó una prueba múltiple de medias para la fuente de variación “Factor B”.

Cuadro 17. Prueba de medias para la variable “Peso de 100 granos” y fuente de variación “Factor B”

Factor.B	Medias (gr)	E.E.	Literales		
100-20-100	26.48	0.16	A		
100-40-50	26.4	0.16	A		
50-20-50	26.37	0.16	A		
100-60-100	26.37	0.16	A		
100-60-50	26.36	0.16	A		
50-60-50	26.32	0.16	A		
50-20-100	26.3	0.16	A		
50-40-50	26.29	0.16	A	B	
100-40-100	26.25	0.16	A	B	
50-40-100	26.19	0.16	A	B	
50-60-100	25.94	0.16		B	C
100-20-50	25.8	0.16			C

Fuente: Elaboración propia

La prueba múltiple de medias para la fuente de variación “Factor B” formó tres grupos estadísticos en donde el grupo con la literal “A” está formado por la mayoría de niveles del Factor B, 10 niveles. Los valores de estos niveles están entre 26.19 y 26.48 gramos por cien granos.

6.4.2 Número de granos por vaina

Cuadro 18. Análisis de la varianza para la variable “Número de granos por vaina”

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	4925.54	<0.0001
Localidad	4	10	1.16	0.3834
Factor.A	1	10	1.38	0.2674
Factor.B	11	220	1.4	0.1727
Localidad:Factor.A	4	10	1.88	0.1898
Localidad:Factor.B	44	220	0.76	0.8562
Factor.A:Factor.B	11	220	3.18	0.0005
Localidad:Factor.A:Factor.B	44	220	1	0.4779

Fuente: Elaboración propia

Derivado del análisis de la varianza para la variable “Número de granos por vaina”, es importante analizar los siguientes aspectos. En primer lugar que para la fuente de variación “Factor A” no existió diferencia estadística, por lo que podemos concluir que la aplicación de lombricompost no genera cambios estadísticos significativos en la variable “Número de granos por vaina”, comparado con la no aplicación de esta. Asimismo, para la fuente de variación “Factor B”, tampoco existió diferencia estadística, por lo que se puede concluir que no existe una combinación de nitrógeno, fósforo y potasio, estadísticamente superior al resto, con respecto a la variable “Número de granos por vaina”. Sin embargo, para la fuente de variación “Factor A*Factor B”, sí existió diferencia estadística ($P= 0.0005$), indicando que al menos una combinación entre el Factor A y Factor B, es superior al resto con respecto a la variable número de granos por vaina. En tal sentido se realizó una prueba medias según LSD Fisher con un alfa del 5%. Los resultados se muestran a continuación.

Cuadro 19. 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			
Con Lombricompost	50-20-50	6.53	0.2	A			
Con Lombricompost	100-20-100	6.53	0.2	A			
Con Lombricompost	100-60-100	6.53	0.2	A			
Con Lombricompost	50-60-50	6.4	0.2	A	B		
Sin Lombricompost	100-20-50	6.4	0.2	A	B		
Sin Lombricompost	50-60-50	6.33	0.2	A	B		
Sin Lombricompost	100-20-100	6.27	0.2	A	B	C	
Con Lombricompost	100-40-50	6.27	0.2	A	B	C	
Sin Lombricompost	100-60-50	6.27	0.2	A	B	C	
Con Lombricompost	100-40-100	6.2	0.2	A	B	C	D
Con Lombricompost	50-40-50	6.2	0.2	A	B	C	D

Con Lombricompost	50-60-100	6.2	0.2	A	B	C	D	
Con Lombricompost	50-20-100	6.13	0.2	A	B	C	D	
Sin Lombricompost	50-40-100	6.13	0.2	A	B	C	D	
Sin Lombricompost	50-20-100	6.07	0.2	A	B	C	D	
Sin Lombricompost	100-40-50	6.07	0.2	A	B	C	D	
Con Lombricompost	100-60-50	6	0.2		B	C	D	
Con Lombricompost	50-40-100	5.93	0.2		B	C	D	E
Sin Lombricompost	50-40-50	5.93	0.2		B	C	D	E
Sin Lombricompost	100-60-100	5.87	0.2		B	C	D	E
Sin Lombricompost	50-20-50	5.87	0.2		B	C	D	E
Sin Lombricompost	100-40-100	5.8	0.2			C	D	E
Sin Lombricompost	50-60-100	5.67	0.2				D	E
Con Lombricompost	100-20-50	5.47	0.2					E

Fuente: Elaboración propia

El cuadro de la prueba múltiple de medias según LSD Fisher al 5%, separó cinco grupos estadísticos, en donde el primer grupo representado con la literal “A” abarca la mayoría de los tratamientos, 16 en total. Sin embargo, algunos de estos tratamientos se repiten en otros grupos estadísticos. Algo importante que nos muestra esta prueba de medias es que los primeros tres tratamientos en este grupo estadístico, también ocupan los primeros lugares en la prueba de medias para la variable “Rendimiento”; algo congruente, debido a que a mayor número de granos por vaina mayor rendimiento.

6.4.3 Número de vainas por planta

Cuadro 20 Análisis de la varianza para la variable “Número de vainas por planta”

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	220	1407.15	<0.0001
Localidad	4	10	0.6	0.6706
Factor.A	1	10	2.3	0.1604
Factor.B	11	220	0.96	0.4870
Localidad:Factor.A	4	10	0.83	0.5359
Localidad:Factor.B	44	220	1	0.4797
Factor.A:Factor.B	11	220	1.12	0.3438
Localidad:Factor.A:Factor.B	44	220	0.95	0.5744

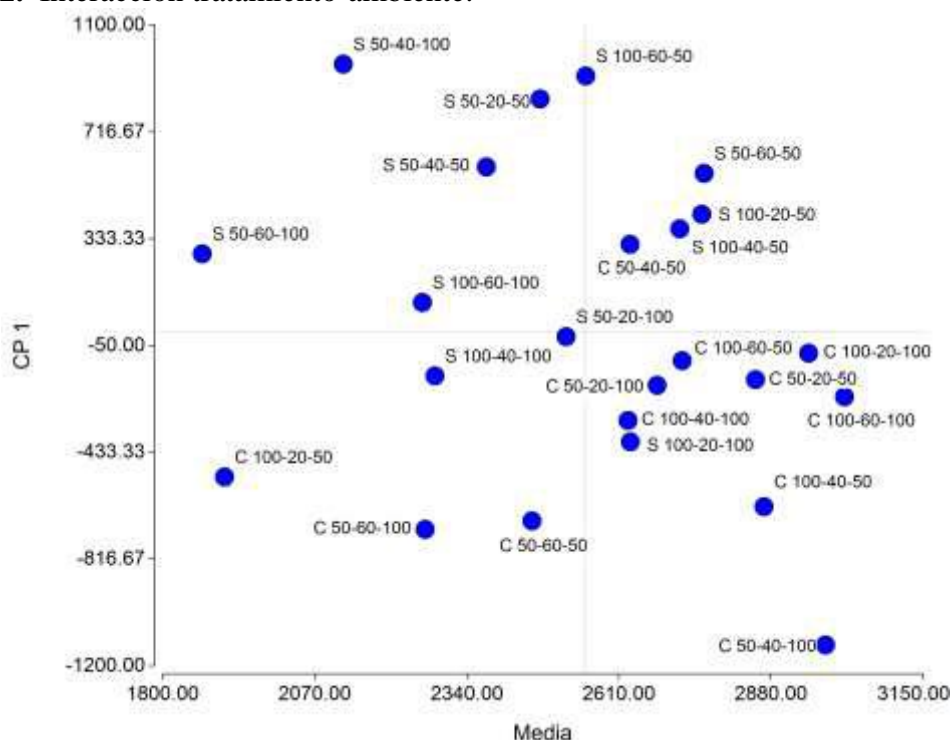
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la variable número de vainas por planta, el análisis de la varianza muestra que no existe significancia para ninguna de las siete fuentes de variación; en otras palabras no existe una combinación entre los factores evaluados que sea superior al resto o que produzca estadísticamente mayor número de vainas por planta. La media de número de vainas por planta se puede observar en el apartado de “Variables respuesta”, específicamente en el Cuadro 4. La moda para esta variable es de 13 vainas por planta.

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

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, así también el rendimiento del genotipo evaluado. Basándonos en la Gráfica 2, podemos mencionar que los tratamientos con mejor estabilidad fueron los siguientes: “Sin lombricompost 50-20-100”, “Con lombricompost 100-60-50” y “Con lombricompost 100-20-100”; por otro lado, los tratamientos con mejor rendimiento fueron los siguientes: “con lombricompost 100-60-100”; “con lombricompost 100-20-100” y “con lombricompost 50-40-100”. Ahora bien, si nos basamos en las dos características de “estabilidad” y “rendimiento”, podemos concluir que los mejores tratamientos son: “con lombricompost 100-20-100” y “con lombricompost 100-60-100”.

Grafica 2. Interacción tratamiento-ambiente.

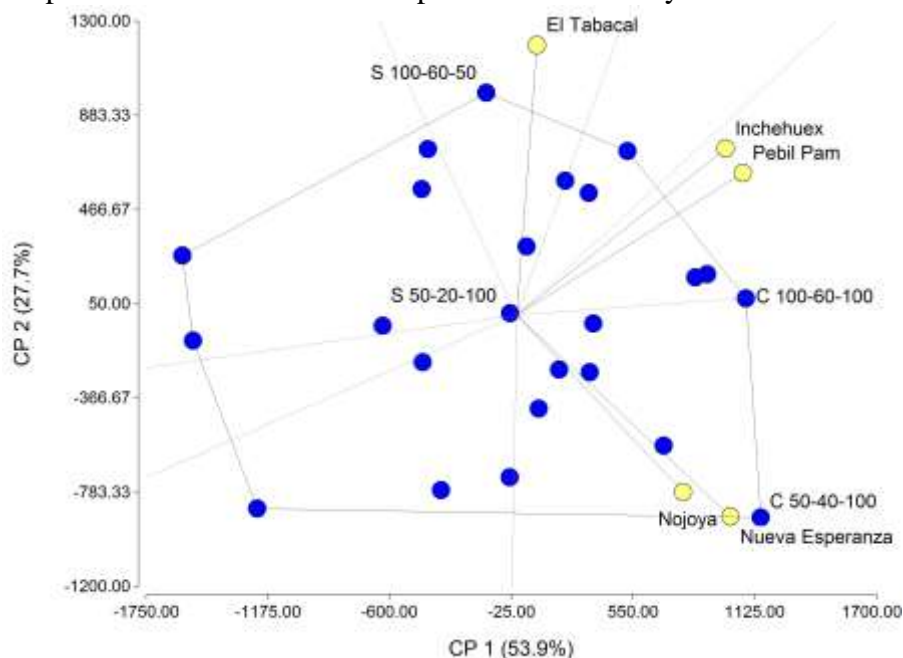


Fuente: Elaboración propia.

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

El análisis de regresión por sitios genera 3 mega ambientes; el primero lo conforma El tabacal, Santa Ana Huista; el segundo conformado por Inchehuex y Pebil Pam de Jacaltenango y el tercero conformado por Nueva Esperanza, Nentón y Nojoyá, San Antonio Huista; con base en el biplot GGE (Gráfica 3) se puede concluir que para el primer mega ambiente se recomienda el tratamiento “sin lombricompost 100-60-50”; para las localidades de Inchehuex y Pebil Pam de Jacaltenango se recomienda el tratamiento “con lombricompost 100-60-100”; para las localidades de Nojoyá, San Antonio Huista y Nueva Esperanza, Nentón se recomienda el tratamiento “con lombricompost 50-40-100” y el tratamiento que puede ser recomendado para todas las localidades es “Sin lombricompost 50-20-100” al encontrarse situado en el centro de todas las localidades.

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



Fuente: Elaboración propia

6.7 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 seis, los cuales aparecen en el Cuadro 21 del presupuesto parcial. El objetivo del análisis económico fue conocer el mejor o los mejores tratamientos, tomando en cuenta los costos y los ingresos que cada uno de estos tratamientos generó. Por lo tanto, a continuación se presentan los resultados del presupuesto parcial y análisis de dominancia.

6.7.1 Presupuesto parcial

Antes de conocer los mejores tratamientos económicamente es necesario determinar los costos variables totales y el ingreso neto de los seis tratamientos previamente seleccionados. Esto ayudó a realizar el análisis de dominancia.

Cuadro 21. Presupuesto parcial para los tratamientos seleccionados.

Tratamiento	Media de rendimiento (Kg/ha)	Factor de corrección	Rendimiento corregido (kg/ha)	Precio de frijol (Q/kg)	Ingreso Bruto (Q/ha)	Costos variables totales (Q/ha)	Ingreso Bruto (Q/ha)
Con Lombricompost 100-60-100	3010.56	0.9	2709.50	11	29804.54	10913.09	18891.45
Con Lombricompost 100-20-100	2947.21	0.9	2652.49	11	29177.38	10171.07	19006.31
Con Lombricompost 100-40-50	2867.73	0.9	2580.96	11	28390.53	9902.58	18487.95
Con Lombricompost 50-20-50	2852.75	0.9	2567.48	11	28242.23	9035.39	19206.83
Sin Lombricompost 50-60-50	2771.73	0.9	2494.56	11	27440.13	2284.22	25155.91
Sin Lombricompost 100-20-50	2757.22	0.9	2481.50	11	27296.48	2002.44	25294.04

Fuente: Elaboración propia.

6.7.2 Análisis de Dominancia

Cuadro 22. Análisis de dominancia para los tratamientos seleccionados.

Tratamiento	Costos variables totales (Q/ha)	Ingreso Neto (Q/ha)	D/ND
Sin Lombricompost 100-20-50	Q2,002.44	Q25,294.04	ND
Sin Lombricompost 50-60-50	Q2,284.22	Q25,155.91	D
Con Lombricompost 50-20-50	Q9,035.39	Q19,206.83	D
Con Lombricompost 100-40-50	Q9,902.58	Q18,487.95	D
Con Lombricompost 100-20-100	Q10,171.07	Q19,006.31	D
Con Lombricompost 100-60-100	Q10,913.09	Q18,891.45	D

Fuente: Elaboración propia.

El criterio usado para “Dominar” un tratamiento fue el propuesto el CIMMYT, 1988; en donde menciona que “...un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos”. Con base en lo anterior el análisis de dominancia para los seis tratamientos seleccionados mostró que únicamente quedó “No dominado” el tratamiento “Sin Lombricompost 100-20-50”, el cual tiene el menor costo variable total y mayor ingreso neto, Q. 2,002.44/ha y Q. 25,294.04/ha, respectivamente.

Lo descrito en el párrafo anterior es lo que se ve a primera vista en el análisis de dominancia, sin embargo existen otras conclusiones que se pueden sacar del mismo, como las siguientes:

- Aunque el uso de lombricompost aumentó los costos variables totales en los tratamientos donde se usó; los beneficios de esta, aplicada al suelo son variados, aunque no tangibles en el momento. Dentro de los principales beneficios se encuentran los siguientes: ayuda a bajar el pH del suelo, mejora la condición física del suelo, aumenta la capacidad de retención de humedad en el suelo, aumenta la infiltración del agua, disminuye la erosión del suelo y provee nutrientes a las plantas (Potash & Phosphate Institute & Foundation for Agronomic Research)
- El uso de lombricompost en la presente investigación ayudó a disminuir el pH del suelo en cuatro de las cinco localidades donde se montaron los ensayos. En promedio el pH disminuyó 0.887 unidades.
- Debido a que solo existe un tratamiento no dominado no fue posible realizar la curva de beneficios netos y el análisis de la tasa marginal de retorno a capital, quedando como mejor opción, desde el punto de vista económico el tratamiento “Sin Lombricompost 100-20-50”, con un ingreso neto de Q. 25,294.04/ha.
- Por ser un cultivo de ciclo corto los efectos de nutrición del lombricompost no son perceptibles en el aumento del rendimiento, ya que el aporte de esta va a estar en función de su desmineralización y aporte de nutrimentos a mediano plazo.

- Aunque económicamente el mejor tratamiento fue “Sin Lombricompost 100-20-50”, hay que ponerle bastante atención al tratamiento “Con Lombricompost 50-20-50”, debido a lo siguiente: a) Según la prueba de medias se encuentra el primer grupo estadístico con una media de 2,852.75 kg/ha, siendo estadísticamente igual al tratamiento “Sin Lombricompost 100-20-50”, b) De los seis tratamientos evaluados económicamente, es el tercero con mejor ingreso neto y el primero de los cuatro tratamientos “Con Lombricompost” y c) Usa los niveles más bajos de nitrógeno, fósforo y potasio, lo que repercute en unos costos variables bajos (Q. 9,035.39), comparados con el resto que tiene el agregado de lombricompost.
- Tomando en cuenta que los beneficios de la materia orgánica se ven de mejor forma a mediano y largo plazo y que muchas veces no son tangibles de forma inmediata, es importante considerar al tratamiento “Con Lombricompost 50-20-50” como una opción para la fertilización en el cultivo de frijol arbustivo, especialmente en suelos con problemas de alcalinidad.

6.7.3 Selección de la tecnología a validar

En la presente investigación y por medio del análisis económico se determinó que el mejor tratamiento es “Sin Lombricompost 100-20-50”, con un ingreso neto de Q. 25,294.04/ha. Sin embargo al tratamiento “Con Lombricompost 50-20-50”, hay que ponerle bastante atención, debido al uso de materia orgánica y los beneficios que esto conlleva en el suelo. En tal sentido, 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 evidenciaron que al incorporar lombricompost al suelo no produce un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento, ni en los componentes de esta variable.
- 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 rendimiento y peso de cien granos, no así en las variables granos por vaina y vainas por planta.
- Los resultados de las pruebas de medias dan a conocer que existe al menos un 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
- Los resultados obtenidos reflejan que el mejor tratamiento desde el punto de vista económico fue “Sin Lombricompost 100-20-50”, el cual posee los menores costos variables y el mayor ingreso neto por hectárea
- Juntamente con el tratamiento mejor económicamente, es importante que se le ponga atención al tratamiento “Con lombricompost 50-20-50”, tomando en cuenta aspectos como rendimiento, costos variables bajos, ingreso neto alto y el uso de lombricompost.
- Con base en los resultados obtenidos en el análisis de la interacción genotipo-ambiente, los tratamientos con mejor estabilidad y rendimiento son “Con lombricompost 100-60-100”, “Con lombricompost 100-20-100” y “Con lombricompost 50-20-50”

- El modelo de regresión por sitios, identificó tratamientos ganadores para cada mega ambiente formado. Para la localidad El tabacal, “Sin lombricompost 100-60-50”, para Inchehuex y Pebil Pam, “Con lombricompost 100-60-100” y para Nojoyá y Nueva Esperanza “Con lombricompost 50-40-100”
- Haciendo uso de lombricompost y fertilizantes de reacción ácida, el nivel de pH del suelo disminuyó 0.887 unidades en promedio, en cuatro de cinco localidades evaluadas.

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 lombricompost 100-20-50” y “Con lombricompost 50-20-50”
- De llegar a concretarse la validación de las dos combinaciones de fertilizantes recomendadas en esta investigación, considerar incluir los resultados de las investigaciones que se realizaron en arreglos topológicos en el año 2018 en Huehuetenango
- Realizar otros estudios para evaluar niveles más bajos de nitrógeno y potasio, conjuntamente con niveles inferiores evaluados en lombricompost u otras fuentes de materia orgánica.
- Con base en los resultados de los niveles de pH del suelo en las localidades en estudio, se recomienda el uso lombricompost para disminuir el efecto negativo del pH alcalino.

9. Bibliografía

- CIAT. (1980). *Problemas de Producción del Frijol*. (H. Schwartz, & G. Gálvez, Eds.) Cali, Colombia.
- DIPLAN. (2015). *www.maga.gob.gt*. Retrieved 2016 from www.maga.gob.gt/diplan/
- Foundation for Agronomic Research. (1988). *Manual de la Fertilidad de los Suelos*. Norcross, Georgia, United States of America.
- ICTA. (2010). *Manual Técnico Agrícola, Producción comercial y de semilla de Frijol (Phaseolus Vulgaris L)*. Quetzaltenango, Guatemala.
- Jones, A. (2000). *www.fao.org*. (B. L. Danilo Mejia, Ed.) Retrieved 2016 from <http://www.fao.org/3/a-av015e.pdf>
- Lemus, J. (1986). *Evaluación de cuatro materiales promisorios precoces de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), tolerantes al virus del mosaico dorado, en nueve localidades del departamento de Jutiapa*. Guatemala, Guatemala.
- Mas Guillén, F. (2007). *Estudio exploratorio sobre densidades de siembra y el sitio de aplicación de diferentes niveles de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad ICTA Ligero en el parcelamiento de Cuyuta, Masagua, Escuintla*. Guatemala, Guatemala.
- Orsag, V. (2002). *El recurso suelo, Principios para su manejo y conservación* (1st Edition ed.). Bolivia: Editorial Zeus.
- Urbina, C. M. (2005). *Manejo de la fertilización del suelo*. Temuco, Chile.

Anexos



Foto 1. Siembra de un ensayo en la localidad Nojoyá, San Antonio Huista, Huehuetenango



Foto 2. Siembra de un ensayo en la localidad Inchehuex, Jacaltenango, Huehuetenango



Foto 3. Aplicación de los tratamientos en el ensayo que estuvo ubicado en Inchehuex, Jacaltenango, Huehuetenango



Foto 4. Desarrollo del cultivo, en el ensayo que estuvo ubicado en Nojoyá, San Antonio Huista, Huehuetenango



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

