

Evaluación del rendimiento de dos variedades de frijol al aplicar diferentes concentraciones de biol de cerdo como fertilizante orgánico

Bolívar Andrés Tello García

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación del rendimiento de dos variedades de frijol al aplicar diferentes concentraciones de biol de cerdo como fertilizante orgánico

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Bolívar Andrés Tello García

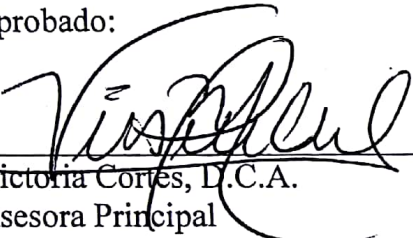
Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

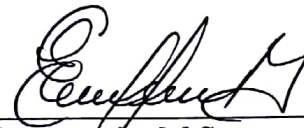
Evaluación del rendimiento de dos variedades de frijol al aplicar diferentes concentraciones de biol de cerdo como fertilizante orgánico

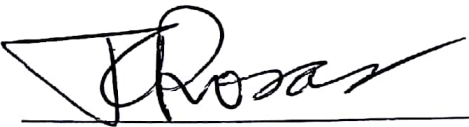
Presentado por:

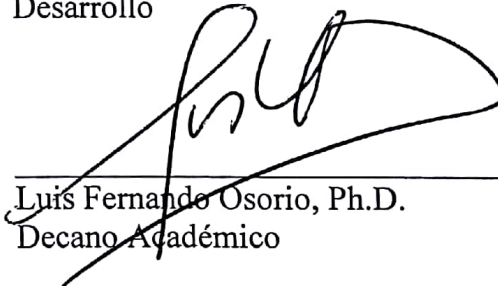
Bolívar Andrés Tello García

Aprobado:


Victoria Cortes, D.C.A.
Asesora Principal


Erika Tenorio, M.Sc.
Directora
Departamento de Ambiente y
Desarrollo


Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor


Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación del rendimiento de dos variedades de frijol al aplicar diferentes concentraciones de biol de cerdo como fertilizante orgánico

Bolívar Andrés Tello García

Resumen. La implementación de biodigestores en el sector agrícola representa una alternativa para el manejo apropiado de residuos y la mitigación de impactos generados por las emisiones derivadas de este sector productivo. El uso de diferentes productos obtenidos de esta tecnología facilita su integración y adopción. El biol representa la fracción líquida obtenida como producto de la digestión anaerobia y puede ser utilizado como fertilizante retornando nutrientes a los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del biol porcino en el rendimiento del cultivo frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) utilizando las variedades Amadeus 77 y Seda. Se caracterizó el biol obtenido de la granja porcina de Zamorano. Se determinó la dosificación requerida por cada planta de frijol para el cálculo de volumen aplicado. Se analizaron 120 unidades experimentales en un invernadero aplicando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3x2x2 y 10 repeticiones. Las variables analizadas fueron biomasa seca, granos por planta, vainas por planta, crecimiento radicular y rendimiento. Los resultados mostraron que el biol contenía 0.13% de N y 0.02% de P. El mejor rendimiento se obtuvo con la interacción suelo FAZ, con la variedad Amadeus 77 a la cual se le aplicó la dosis requerida por el cultivo, mostrando un rendimiento de 2,656 kg/ha. Asimismo, se observó que la aplicación de biol en suelos con bajo contenido de nutrientes, incrementa el rendimiento del cultivo. El suelo fue un factor determinante en este estudio, ya que suelos que contienen la cantidad mínima de N y alto porcentaje de materia orgánica brindaron mejores resultados.

Palabras clave: Biodigestor, fertilizante, nitrógeno, nutrición del suelo.

Abstract. The implementation of biodigesters in the agricultural sector represents an alternative for the appropriate management of waste and the mitigation of impacts generated by the emissions derived from this productive sector. The use of different products obtained from this technology facilitates their integration and adoption. The liquid effluent of the biodigesters can be used as fertilizer, returning nutrients to crops. The objective of this study was to evaluate the effect of the liquid effluent on the yield of red bean crop (*Phaseolus vulgaris L.*) using the varieties Amadeus 77 and Seda. The effluent obtained from the pig farm of Zamorano was analyzed. The dosage required for each bean plant was determined to calculate the volume that should be applied. One hundred and twenty experimental units were analyzed in a greenhouse, using a completely random design with a factorial arrangement of 3x2x2 and 10 repetitions. The variables analyzed were dry biomass, grains and pods per plant, root growth and total yield. The results showed that the biol contained 0.13% of N and 0.02% of P. The best yield was obtained with the interaction FAZ soil, with Amadeus 77 variety, to which the dose required by the crop was applied with a yield of 2,656 kg/ha. It was also observed that the application of the effluent in soils with low nutrient content, increases crop yield. Soil was an important factor for this study, since soils containing the minimum amount of N and high percentage organic matter presented better results.

Key words: Biodigester, fertilizer, nitrogen, soil nutrition.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA	18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Análisis químico de biol bovino y porcino.....	2
2. Análisis aplicados al biol.....	5
3. Cantidad de nitrógeno aplicado según Manual de Producción del Frijol.....	5
4. Descripción de la dosis total de aplicación por planta y la cantidad del biol 5. suministrada al suelo por aplicación para los dos tipos de fertilización.....	6
6. Determinación del volumen aplicado por etapa en frijol.	7
7. Resultado de los análisis de suelo de la Finca agroecológica Zamorano 8. (FAZ) y de la Vega 4 (PIF).	10
9. Resultados del análisis por factores.....	13
10. Resultados del análisis de la interacción de factores.....	14
11. Resultado del análisis de los tratamientos.	15

Figuras	Página
1. Mapa de la localización del estudio.....	4
2. Arreglo factorial para la evaluación del efecto de biol en el desarrollo del 3. frijol.	9

1. INTRODUCCIÓN

Efectos derivados del cambio climático como el aumento de temperatura, el cambio en la distribución de lluvias, la acidificación de océanos y la pérdida de ecosistemas, generan problemas en la producción agrícola y en los sistemas alimenticios. Uno de los factores que tienen gran influencia en el calentamiento global son las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo la agricultura responsable de emitir 21% de estos. Lo anterior es producto del mal manejo de desechos agropecuarios y el uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados. Es por esto que nace la necesidad de proponer soluciones que nos guíen hacia una producción sostenible (FAO, 2017).

Una alternativa para mitigar los problemas de contaminación por los desechos de granjas agropecuarias y los problemas que la fertilización genera durante la producción, es el uso de biodigestores. Estos aprovechan los desechos agrícolas y por medio de procesos de digestión anaerobia, los convierte en biogás. Este recurso puede ser utilizado como fuente de energía térmica y eléctrica para diferentes procesos domésticos e industriales. Asimismo, la producción de biogás reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y la incidencia de varias enfermedades que afectan a la salud de los seres vivos. Otra ventaja de la instalación de biodigestores es la obtención de biol. Este subproducto es un excelente fertilizante que retorna los nutrientes al suelo favoreciendo una producción sostenible (Warnars y Oppenoorth, 2014).

La aplicación de nutrientes mediante la fertilización tiene una influencia directa sobre la producción de biomasa en los cultivos y por lo tanto representa un factor directamente relacionado con los rendimientos. Esta actividad consiste en introducir en el suelo los nutrientes necesarios para que la planta pueda desarrollarse de una correcta forma. La alta demanda de alimentos en el mundo, la alta disponibilidad en el mercado y su fácil aplicación ha ocasionado que el uso de fertilizantes químicos aumente significativamente, pero su aplicación continua acidifica el suelo, aumenta la erosión y aniquila los organismos que son benéficos para el suelo (Rodríguez, Armas y Pacaya, 2014). La frecuencia de aplicación de nutrientes por fertirriego depende de los requerimientos del cultivo, sin embargo, Mora (2004) sugiere que la frecuencia de aplicación se realice semanalmente (Mora, 2004).

Según Buol (1995), el enfoque que se debe dar al uso del suelo, es la capacidad de brindar nutrientes esenciales, ya que estos influyen en el rendimiento. Sin embargo, el suelo tiene que cumplir con ciertos indicadores químicos que favorezcan los procesos de disponibilidad de nutrientes para el crecimiento integral del cultivo. Un indicador es la materia orgánica presente, ya que esta define la fertilidad y estabilidad del suelo. Otro indicador importante es el contenido de P, N y K extractables, debido a que nos dan una idea del aporte potencial de nutrientes a la planta (Doran y Parkin, 1994). Entre estos elementos, el nitrógeno influye

directamente sobre el incremento de biomasa, el crecimiento del tallo y desarrollo de flores y frutos (Rodríguez y Flórez, 2004).

El nitrógeno orgánico es abundante en el suelo, sin embargo, las plantas lo absorben en sus formas inorgánicas. El proceso de la mineralización se basa en la transformación del N orgánico en N inorgánico, brindando NH₄, NO₃ y NO₂ como productos. Estos tienen varias vías de distribución, una es la inmovilización, en la cual el N mineral es absorbido por microorganismos y pasa a formar parte de su estructura como N orgánico. Es por esto que el suelo tiene que ser rico en N mineral para que las plantas puedan absorberlo. Si no existe la cantidad requerida, los microorganismos absorben todo el N disponible sin dejar N para las plantas (Perdomo y Barbazán, 2001).

Los fertilizantes orgánicos presentan una oportunidad para el sector agrícola, ya que aparte de nutrir a la planta, favorecen la aireación del suelo aportando mayor oxígeno para los organismos aerobios, también ayudan a la formación de materia orgánica y esta al ser oscura, absorbe mejor la radiación solar e incrementa la temperatura del suelo, lo cual contribuye a la fácil absorción de nutrientes por la planta (Fondo para la Protección del Agua, 2010). Estos se originan de materiales orgánicos, su calidad depende de la materia prima que se emplea en el proceso de degradación y de su tiempo de duración. Dicha materia prima puede ser conformada por desechos de origen animal, como el estiércol y purines provenientes de explotación agropecuaria; de origen vegetal, como las leguminosas que aportan nitrógeno al suelo o de residuos domésticos (Cajamarca, 2012).

El biol es un fertilizante orgánico que se obtiene a partir del proceso de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos. Este producto contiene macro elementos que son esenciales para la planta como el nitrógeno, fósforo y potasio, y también micro elementos como el zinc, hierro, manganeso y cobre. Las características de este subproducto dependen de sustrato utilizado para operación del biodigestor, la frecuencia de alimentación y el tiempo de retención hidráulico. La importancia de este último factor radica en que, si se cumple con el tiempo necesario de digestión, se obtendrá un efluente completamente digerido, en donde los nutrientes se han transformado de estados orgánicos a estados disueltos, favoreciendo la absorción de estos por la planta (Warnars y Oppenoorth, 2014). En el Cuadro 1 se puede observar la composición química del biol proveniente de estiércol bovino y porcino.

Cuadro 1. Análisis químico de biol bovino y porcino.

Biol	K (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Co (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	N (%)	P2O5 (%)
Bovino	0.06	0.032	0.1	0.1	3.9	0.5	0.5	0.25	0.17
Cerdo	0.04	0.013	0.2	0.1	1.6	0.8	0.6	0.41	0.05

Fuente: Estudios de laboratorio de Sistemas Biobolsa. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro (2015).

Uno de los cultivos más producidos en Centroamérica es el frijol por tratarse de un alimento básico en la dieta de los pobladores de esta región; en Honduras, la producción alcanzó las 116,707 toneladas para el año 2016 (Food and Agriculture Organization Statistics, 2016). La importancia de este cultivo no solo radica en su contenido nutricional, también por el impacto que causa sobre la economía local, representando una fuente de empleo y su aporte al PIB nacional (Insituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2014). Otro de los beneficios es la fijación de nitrógeno al suelo, debido a que sus raíces se encuentran en simbiosis con ciertas bacterias benéficas que son las encargadas de realizar este proceso (Paredes, 2013).

Según Urzúa (2005), el frijol presenta grandes cantidades de nitrógeno en su estructura. Un estudio realizado por Lata, Villaseñor y Chabla (2017), caracterizó el patrón de fraccionamiento en la extracción nutrimental y su relación con el desarrollo fenológico del frijol; los resultados indicaron que las hojas y el tallo son los órganos que absorben mayor cantidad de nitrógeno en la etapa de crecimiento vegetativo. A partir de la floración, la distribución de nitrógeno en estos órganos descendió y hubo un incremento en la absorción por parte de las vainas y de los granos. También, reportó que el nutriente con mayor demanda fue el Nitrógeno (Lata-Tenesaca, Villaseñor-Ortiz y Chabla-Carrillo, 2017).

Los rendimientos por hectárea dependen de muchos factores, entre ellos, la variedad. Según el Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), la variedad Amadeus 77 presenta rendimientos promedios de 1,755 kg/ha, en cambio SEDA presenta rendimientos más bajos llegando a 728 kg/ha en campo (IICA, 2014). En cambio, Benites (2008) obtuvo diferentes resultados en invernadero, ya que los rendimientos fueron de 2,792 kg/ha y 2636 kg/ha para las variedades Amadeus y SEDA respectivamente utilizando fertilización inorgánica (Benites, 2008).

Los principales síntomas de la deficiencia de nitrógeno en el frijol se observan cuando las hojas que se encuentran en la parte baja de la planta toman un color amarillento, este efecto avanza progresivamente hacia las hojas que se encuentran en la parte superior lo que causa una disminución en el desarrollo de la planta y en consecuencia se obtienen bajos rendimientos (Schwartz y Gálvez, 1994).

La adopción de tecnologías apropiadas en el sector agrícola, como los biodigestores, contribuirán a la mitigación de efectos del cambio climático proporcionando recursos como la energía y el biol. El uso de este fertilizante favorece el retorno de nutrientes a los suelos mejorando su calidad e incrementando el rendimiento de los cultivos. Para documentar el efecto del biol en el rendimiento de leguminosas se plantean los siguientes objetivos:

- Estimar el aporte de nitrógeno del fertilizante mediante la caracterización del biol recolectado en la planta de ganado porcino.
- Determinar la dosificación de biol que derive en un mayor rendimiento de fruto y biomasa para las variedades de frijol Amadeus 77 y SEDA.

2. METODOLOGÍA

Localización del sitio estudio.

El establecimiento del cultivo se realizó en el invernadero 4 perteneciente al Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) durante los meses de Junio a Agosto del 2018. El invernadero está ubicado dentro de las instalaciones del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria de la EAP Zamorano, Francisco Morazán, Honduras.

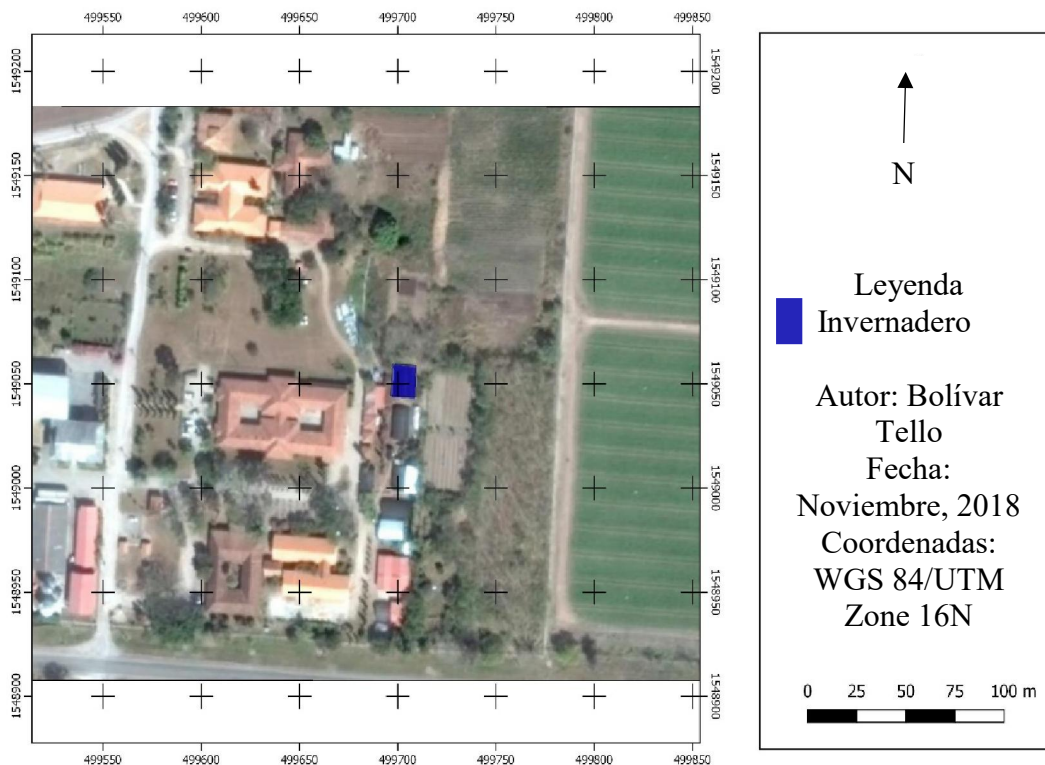


Figura 1. Mapa de la localización del estudio

Estimación del aporte de nitrógeno del biol recolectado en la planta de ganado porcino.

Recolección y caracterización del biol. La recolección del biol se realizó en tres diferentes días luego del proceso de alimentación el biodigestor ubicado en la Granja porcina de la

EAP Zamorano. Para cada muestra se llevó un envase plástico de 25 galones en donde se almacenó el efluente obtenido a la salida del biodigestor. Cada muestra fue rotulada conforme a la fecha de recolección. Posteriormente, se llevó al laboratorio del Departamento de IAD, donde se almacenó y preservó para realizar los análisis descritos en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis para determinación de N y P aplicados al biol.

Análisis	Referencia
Nitrógeno Total Kjeldahl	4,500 Norg C (APHA 2005)
Fósforo Total	8,190 Método de digestión persulfato ácido (HACH)

Cálculo de fertilización. El cálculo de fertilización que se presenta a continuación se realizó con base en la densidad recomendada por el PIF (166,000 plantas/ha) y el requerimiento del frijol. Se tomó de referencia las aplicaciones de fertilizantes brindados por el Manual de Producción del Frijol que se muestran en el Cuadro 3.

$$\text{Dosis por planta} \left(\frac{\text{mg}}{\text{planta}} \right) = \frac{\text{Requerido por ha}}{\text{Densidad de siembra}} \quad [1]$$

Cuadro 3. Cantidad de nitrógeno aplicado según Manual de Producción del Frijol.

Fertilizante aplicado	Cantidad aplicada (kg/ha)	% de Nitrógeno	Cantidad de Nitrógeno aplicado (kg/ha)
18-46-0	68	18	12.24
Nitrato de amonio	151	34	51.34
Total			63.58

Fuente: USAID (2013)

El resultado obtenido en la ecuación 1 es la cantidad de mg de N que tiene que ser suplido por el biol hacia la planta. Para determinar el volumen requerido de biol, para suplir la demanda de este nutriente, se usó la ecuación 2, obteniendo un resultado de 294 ml de biol.

$$V_a = \frac{C_c}{C_b} \times 1000 \quad [2]$$

Donde:

V_a: Volumen por aplicación (mL)

C_c: Cantidad de N requerida por cultivo (mg)

C_b: Concentración de N en el biol (mg/L)

Para determinar la dosis 2, se buscó tener una concentración más alta de N, por lo que se mezcló dos partes del volumen obtenido de biol (ecuación 2) más 1 de agua, obteniendo un total de 879 ml de solución. La concentración de esta fue calculada con la Fórmula 3.

$$(V1) \times (C1) = (V2) \times (C2) \quad [3]$$

Frecuencia de aplicación. Para la frecuencia de las aplicaciones de biol se tomó en cuenta los días a floración del cultivo (40 días) debido a que, a partir de la floración, el cultivo trasloca los nutrientes almacenados en las reservas que son las hojas y los tallos hacia los frutos. Para saber el número de aplicaciones de biol se dividió el total de días hasta floración para el intervalo de aplicación (ecuación 4).

$$\text{No. aplicaciones} = \frac{40}{3} = 13.3 \approx 14 \text{ aplicaciones} \quad [4]$$

En el Cuadro 4 se muestra la cantidad de biol aplicado por planta por aplicación para los dos niveles de fertilización. Como se puede observar, la dosis 1 (D1) representa tres veces el valor de la dosis 2 (D2).

Cuadro 4. Descripción de la dosis total de aplicación por planta y la cantidad del biol suministrada al suelo por aplicación para los dos tipos de fertilización.

Tipo de fertilización	Dosis total (ml/planta)	Número de aplicaciones	Dosis por aplicación (ml/aplicación)	Cantidad de N total aplicado (mg N/planta)
D1	294	14	21	383
D2	879	14	63	763

Establecimiento del cultivo.

Selección y preparación del sustrato. El criterio de selección del suelo para el estudio se fundamentó en concentraciones de N_{total} iguales o menores a 0.2%. El primer suelo fue preparado conforme a instrucciones proporcionadas por el PIF, mezclando 100 lb de suelo del sitio conocido como La Vega 4 con 50 lb de arena lavada en una carreta. Antes de pasar todo el sustrato a los maceteros, se tomó una muestra uniforme para determinar la concentración de N en el laboratorio. El segundo suelo provenía de la Finca Agroecológica Zamorano (FAZ), con el fin de aportar información aplicable a sus escenarios de producción.

Varietades. Se utilizaron semillas de la variedad Amadeus 77 y SEDA. Ambas variedades se caracterizan por presentar las características de resistencia a altas temperaturas y resistencia a sequía, la única diferencia en estas variedades es la resistencia que presenta la variedad Amadeus 77 al Virus del mosaico amarillo.

Preparación de maceteros e invernadero. Se utilizaron maceteros alargados de 40 cm de altura para que las raíces contaran con más espacio para crecer. Los maceteros se lavaron con detergente para remover la materia orgánica seguidamente se desinfectaron en una solución de cloro para su posterior secado al sol. Seguidamente, se colocó 25 libras de sustrato por macetero, para un total de 60 con sustrato de PIF y 60 con suelo de la finca agroecológica. Las unidades se colocaron en el invernadero donde fueron distribuidas aleatoriamente en las tarimas plásticas para su posterior rotulación conforme a sus tratamientos.

Siembra del cultivo. Se utilizaron 120 semillas de la variedad Amadeus 77 y 120 semillas de la variedad SEDA para el proceso de germinación preliminar. Estas fueron colocadas en bandejas plásticas transparentes y tapadas con papel para germinar; luego se humedeció el papel con 50 ml de agua aproximadamente. Se taparon las cajas y se dejaron en el laboratorio por dos días. Una vez germinadas las semillas, se realizó el trasplante. En este proceso se colocaron dos plántulas por macetero.

Mantenimiento del cultivo.

Riego. El riego fue suministrado por manguera, tomando en cuenta el requerimiento hídrico mediante la Evapotranspiración del cultivo (ETC). Se aforó el caudal de la manguera con una probeta para saber cuánto tiempo se tenía que regar la planta en cada etapa (Cuadro 5). Se tomó en cuenta el Kc brindado por Arias et al. (2007).

Cuadro 5. Determinación del volumen aplicado por etapa fenológicas del frijol.

Etapa del cultivo	Kc por etapa	ETO/día (mm)	ETC (mm)	Vol×área (L/m²)	Área macetero (m²)	Volumen por macetero (ml/día)	Volumen por etapa (L)
Inicial	0.4	5	2	2	0.053	0.106	1.696
Desarrollo	1	5	5	5	0.053	0.265	5.300
Media	1.2	5	6	6	0.053	0.318	8.268
Final	0.8	5	4	4	0.053	0.212	3.180

Poda y control de malezas. El control de malezas se realizó manualmente, retirando la vegetación ajena al cultivo de interés de los maceteros. Esta actividad se realizó cada vez que había la presencia de malezas (por lo general cada dos semana). Asimismo, se hizo una poda del tallo del cultivo hasta dejarlo a una altura de 70 cm, cortando las guías de cada

planta para tener un mejor manejo al momento de la toma de datos. Finalmente, se realizó un raleo 7 días después del trasplante, quitando la planta que presentaba menor vigor.

Prácticas culturales aplicadas. Se realizó un tutorado a los 16 días para prevenir la caída de la planta para lo cual se enterró una estaca de bambú al lado del tallo, sujetando planta a este soporte con un alambre. Luego de 10 días se realizó la misma actividad para brindar la estabilidad requerida por el aumento del tamaño de la planta.

Determinación de la producción de biomasa y rendimiento del cultivo.

Las variables analizadas fueron el peso seco de biomasa, desarrollo radicular y rendimiento del cultivo. La toma de datos se realizó en dos etapas evaluando 60 muestras para las variables de peso seco de biomasa y desarrollo radicular hasta la etapa de floración y 60 muestras para la variable de rendimiento al concluir el ciclo del cultivo.

Peso seco de biomasa (g/pl). Al iniciar la etapa de floración del cultivo (40 días) se realizó la toma de datos de la variable peso seco de biomasa, cortando el tallo en la base y para colocarlo dentro de bolsas de papel rotuladas que posteriormente se sometieron a un proceso de secado en horno a 70 °C durante 48 horas. Al concluir el periodo de secado, se registró el peso de la biomasa utilizando una balanza analítica Sartorius con precisión de 0.001 g.

Crecimiento radicular (metros). La toma de datos de esta variable se realizó a partir de las raíces obtenidas de las plantas que se cortaron para determinar el peso seco de biomasa. Se retiró el suelo de los maceteros con la ayuda de agua, colocando el contenido de estos en bandejas de plástico y retirar la raíz. Estas se limpiaron con pinzas y se preservaron en frascos de vidrio con una solución de alcohol del 30%. Luego se utilizó el equipo Epson Scan Perfection V700 para obtener imágenes de toda la raíz, luego se procesó los resultados mediante el programa WinRizho que proporciona datos sobre la longitud radicular.

Rendimiento del cultivo. La toma de datos de rendimiento se realizó al finalizar el ciclo del cultivo registrando tres variables: rendimiento por Ha (kg/ha), número de vainas (No/planta) y número de granos por planta (No/planta). Se cosecharon las vainas en bolsas de papel rotuladas para luego contar el número de vainas por planta. Posteriormente se retiraron y cuantificaron los granos de las vainas pertenecientes a cada planta, colocando estos nuevamente en las bolsas para ser secados a 40 °C en un horno durante dos días. Los granos obtenidos fueron pesados en una balanza Seedburo con una precisión de 0.1 gr.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3 x 2 x 2, con dos variedades de frijol (Amadeus 77 y SEDA), dos sustratos y dos concentraciones de biol más un testigo al cual no se le añadió fertilizante. La unidad experimental de la investigación fue cada planta con su diferente tratamiento, con 10 repeticiones, obteniendo un total de 120 UE. Se utilizaron 60 de estas para realizar la toma de datos en las variables de crecimiento radicular y biomasa seca y 60 UE para analizar la variable de rendimiento del cultivo. Se requirió un área de 11 m², colocando 11 maceteros por cada m². El experimento se realizó bajo condiciones controladas. En la Figura 2 se detalla el diseño utilizado.

Análisis estadístico. Antes de proponer un análisis estadístico se verificó la normalidad de los datos aplicando una prueba de Shapiro Wilk con el programa “Infostat”. Dado que los datos no siguieron una distribución normal, se aplicó un Modelo Lineal Generalizado para determinar diferencias entre los factores y sus interacciones. Se aplicó un LSD de Fisher para comparar los niveles de los factores con una significancia del 5%. Los datos fueron procesados en el programa “Infostat” versión 2018.

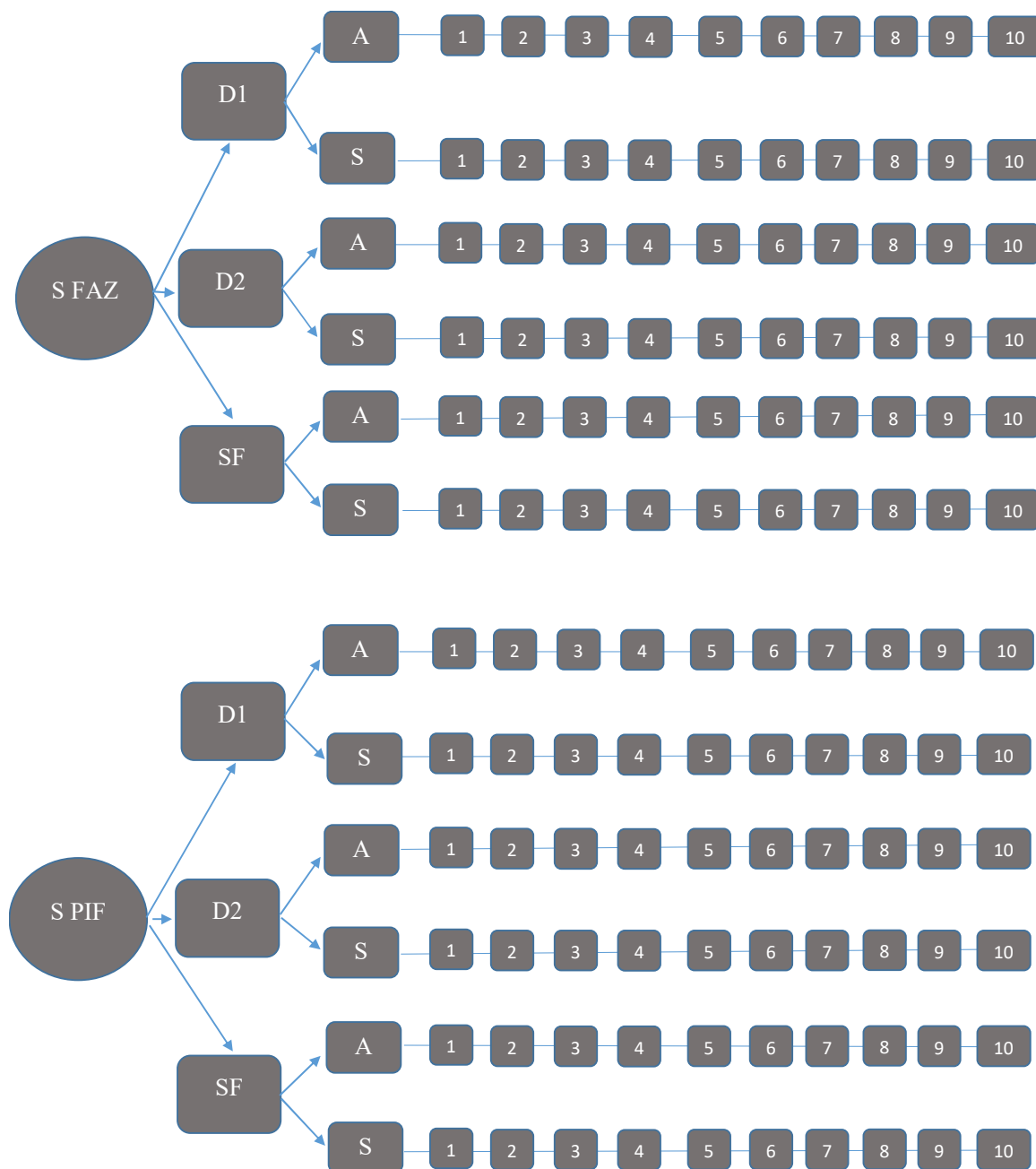


Figura 2. Arreglo factorial para la evaluación del efecto de biol en el desarrollo del frijol. PIF: Programa de Investigación del frijol, FAZ: Finca Agroecológica Zamorano, A: Amadeus, S: SEDA, D1: Dosis 1, D2: Dosis 2, SF: Sin fertilización.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del biol y sustratos utilizados.

Análisis de sustratos. Resultados del análisis de suelo son presentados en el Cuadro 6. Estos indicaron que el suelo FAZ cuenta con la concentración mínima de N (0.2 %) para que los cultivos se puedan desarrollar adecuadamente. Por otra parte, el suelo PIF presentó 0.11 de N, lo que indica que el cultivo no contará con los nutrientes necesarios para su desarrollo y estos deberán ser proporcionados a través de la adición de fertilizantes en este tipo de suelo. Se encontró deficiencia de fósforo (P) en ambos suelos, no obstante, la materia orgánica (M.O.) contenida en ambos se encuentra en el rango medio, presentando una mayor proporción en el suelo FAZ, lo que favorecerá al desarrollo de raíces y biomasa por su aporte de carbono orgánico. La estructura de ambos sustratos fue Franco-arenosa.

Cuadro 6. Resultado de los análisis de suelo de la Finca agroecológica Zamorano (FAZ) y de la Vega 4 (PIF).

Sustrato	pH	C.O. M.O. Ntotal			P K Ca Mg Na				
		M.O. (%)			mg/kg (extractable)				
Suelo Vega 4	5.9	1.32	2.28	0.11	8	433	1,238	158	34
Suelo FAZ	5.84	2.3	3.97	0.2	4	337	653	153	5
Rango medio			2	0.2	13	Por saturación de bases			
			4	0.5	30				

pH: 1:1 en agua.

C.O.: Método de Walkey & Black.

N: 5% de M.O.

P: Solución extractora de Mehlich.

K, Ca, Mg, y Na: Solución extractora de Mehlich.

Caracterización del biol. Los resultados mostraron que el biol contiene 0.13% de NTK y 0.025% de P total. Un estudio realizado por Santin (2017) tuvo como objetivo evaluar el efecto del biol en el cultivo frijol, en las variedades Amadeus 77 y Deorho. Dichos resultados difieren de la presente investigación debido a que ella obtuvo 0.02% de N y 0.01% de P en la composición del fertilizante (Santin, 2017). Esto se debe a que el biol utilizado por su estudio era de menor calidad, ya que, la materia prima utilizada para la digestión tiene menor contenido de N y una mayor dilución de agua residual. Otro factor que influyó en la concentración de nutrientes, fue la frecuencia de alimentación, ya que, al ser un biodigestor con fines demostrativos, se alimenta 1 vez cada 3 semanas.

Según Warnars y Oppenoorth (2014), se tiene que respetar el tiempo de retención hidráulica (TRH) y la frecuencia de alimentación adecuada para que exista una completa degradación de la materia orgánica (Warnars y Oppenoorth, 2014). También se analizó el coeficiente de variación obtenido de estos resultados, con el fin de determinar la variabilidad en la concentración de N en el biol. El resultado obtenido fue de 9.35%, indicando una limitada variabilidad asociada al régimen de operación del biodigestor, tanto en la frecuencia de alimentación como en las características del sustrato.

Análisis de productividad de biomasa y rendimiento del cultivo.

Producción de biomasa. El análisis estadístico indicó que la interacción de los factores y los tratamientos no tuvieron efecto en la producción de biomasa. Sin embargo, los factores Dosis y Suelo mostraron altas diferencias significativas. En cuanto al factor suelo, FAZ fue quien dio mejor resultado brindando una cantidad de 8.4 g/pl frente a PIF, que produjo 6.1 g/pl (Cuadro 7). La concentración de N en el suelo FAZ duplica la presente en el PIF antes de la adición de biol. Al aplicar la misma dosis, existió una mayor disponibilidad de N en el suelo FAZ. En el análisis de suelo también se observó diferencias entre el contenido de Carbono orgánico (CO) ya que los mejores resultados se obtuvieron en el suelo de la FAZ. Esto influye en la calidad del suelo ya que el CO brinda alimento y energía a los microorganismos presentes en este. A partir de su metabolismo, se obtienen productos como energía, agua y elementos en formas aprovechables para las plantas (Martínez , Fuentes y Acevedo, 2009). Dicho lo anterior, el efecto positivo de FAZ en la producción de biomasa, fue resultado de la mejor calidad que presentaba este suelo.

El factor Dosis también mostró diferencias altamente significativas. Las dosis D1 y D2 presentaron mayor biomasa seca frente al testigo, sin embargo, no se tuvieron diferencias significativas entre D1 y D2 (Cuadro 7). Un estudio realizado por Escalante et al. (2014), mostró los mismos resultados obtenidos por este estudio. Ellos evaluaron el crecimiento de biomasa al aplicar fertilizante nitrogenado al suelo frente a un testigo, el cual no tuvo aplicaciones. El tratamiento que se fertilizó resultó en mayor cantidad de biomasa, el resultado fue atribuido a la mayor cantidad de nitrógeno en el suelo disponible para la planta (Escalante-Estrada, Rodriguez y Escalante-Estrada, 2014).

Longitud de raíz. Los resultados para esta variable indican que no existieron diferencias significativas excepto para el factor variedad, SEDA produjo casi el doble de la cantidad producida por Amadeus 77 (Cuadro 7). Un estudio realizado por Moreno y Flores en el 2015, tenía como objetivo evaluar el desempeño de semillas criollas, acriolladas y mejoradas del frijol. Se evaluaron diferentes variables de respuesta, entre ellas la materia seca de la raíz, que a pesar de no presentar diferencias significativas en los tratamientos, SEDA fue la variedad con mayor proporción de materia seca en términos de cantidad. Lo anterior permite concluir que las variedades criollas y acriolladas presentan mejores resultados, esto se debe a que son variedades adaptadas al lugar y SEDA, al ser resistente a sequía, promueve su desarrollo radicular para la obtención de agua (Moreno y Flores, 2015).

Vainas. Los resultados indicaron que los tratamientos no tuvieron efecto en la respuesta de esta variable. En cuanto a las interacciones, al combinar Suelo y Dosis, se obtuvo diferencias significativas. No existieron diferencias entre las interacciones FAZ*D2, FAZ*D1, PIF*D2, FAZ*SF y PIF*D1 ya que presentaron un valor $p \geq 0.05$, la única interacción que presentó diferencias significativas fue PIF*SF con un valor $p \leq 0.05$, siendo esta la que reportó una menor cantidad de vainas y coincide con el tratamiento con menor cantidad de N disponible (Cuadro 10). Los valores bajos de producción de vainas se encuentran asociadas a la deficiencia de nitrógeno en el suelo y por la falta de fertilización. Un estudio demostró que el frijol requiere de nitrógeno para la formación de granos y vainas, indicando que si la planta no cuenta con este nutriente, la formación de vainas se verá restringida (Lata-Tenesaca, Villaseñor-Ortiz y Chabla-Carrillo, 2017).

Numero de granos. Según el análisis estadístico, los tratamientos no influyeron en el desarrollo de esta variable, solo la interacción Suelo*Dosis presentó diferencias significativas. Las interacciones FAZ*D2, FAZ*D1, FAZ*SF y PIF*D1 fueron estadísticamente diferentes que PIF*D2 y PIF*SF (Cuadro 8). Estos resultados se atribuyen al suelo, por su deficiencia de N. Según Lata et al. (2017), el cultivo absorbe grandes cantidades de N en la etapa de llenado de vainas (Lata-Tenesaca, Villaseñor-Ortiz y Chabla-Carrillo, 2017). Dicho lo anterior, se puede decir que una deficiencia de N en el suelo genera baja producción de granos. También se observó que la variedad que produjo más granos fue SEDA, esto es causado por el genotipo, ya que en era diferente en cada variedad (Bonilla, 1990). Debido a que SEDA produjo más granos, pero Amadeus tuvo más rendimiento, se considera que SEDA produjo más granos pero de menor peso.

Rendimiento. Se observó un valor $p \leq 0.05$ en la interacción Suelo*Variedad, las interacciones que contenían S FAZ presentaron mejores rendimientos que las que tenían S PIF. Sin embargo, la variedad también muestra que tuvo influencia en los resultados, ya que Amadeus presentó el mayor rendimiento en términos numéricos. En la interacción Suelo*Dosis se encontraron diferencias significativas. El mejor rendimiento se lo obtuvo con FAZ*D1 con un resultado de 2,493 kg/ha, sin embargo, no se diferenció de las demás interacciones, excepto PIF*D2 y PIF*SF presentando resultados de 1,975.4 kg/ha y 830 kg/ha respectivamente (Cuadro 8).

Los resultados obtenidos son similares a los de Ortiz (2010) ya que el evaluó el efecto de diferentes dosis de 3 fertilizantes orgánicos frente a un testigo (fertilización convencional) en el crecimiento y rendimiento del frijol. El mejor rendimiento lo obtuvo con los tratamientos a los cuales se les aplicó fertilizante orgánico, sin embargo, la variable dosis no presentó diferencias significativas y esto fue atribuido a la conducta multivariada entre las dosis de los fertilizantes. Cabe recalcar que dos fertilizantes dieron mayores rendimientos con las menores dosis aplicadas (Ortiz, 2010).

Benites (2008) realizó un estudio en el cual evaluó el rendimiento de diferentes variedades de frijol con y sin fertilización inorgánica en invernadero. Los resultados de los tratamientos con fertilización fueron de 2,792 kg/ha y 2,636 kg/ha para las variedades Amadeus 77 y SEDA respectivamente (Benites, 2008), lo cual concuerda con este estudio ya que la variedad Amadeus 77 presentó 2,656 kg/ha y la variedad SEDA presentó valores de 2,390

kg/ha. Esto quiere decir que el biol cumple la misma función que la fertilización convencional dentro de maceteros y bajo condiciones controladas de invernadero.

Es importante destacar que en la variedad SEDA se midió mayor peso de biomasa, longitud de raíz, número de grano y vainas; sin embargo, Amadeus presentó mejores rendimientos. Esto se debe a los diferentes genotipos expresados por cada variedad. Otro punto a mencionar es que la dosis mayor no presentó mejores rendimientos, esto nos da a entender que la basta con suplir el requerimiento del cultivo. Si manejamos el fertilizante de esta manera, obtendremos beneficios ambientales y económicos expresados en disminución de costos.

Cuadro 7. Resultados del análisis estadístico de cada factor estudiado en el efecto del biol en el rendimiento del cultivo frijol.

	Biomasa seca (g/pl)	Vainas (No/pl)	Granos (No/pl)	Rendimiento (kg/ha)	Longitud raíz (m)
Suelo					
FAZ	8.4 a	10.4 a	53.7 a	2345.0 a	89
PIF	6.1 b	8.2 b	39.4 b	1649.4 b	77
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	0.0001***	0.0002***	<0.0001***	<0.0001***	0.1491ns
Dosis					
D2	8.9 a	9.9 a	49.1 a	2099.9 a	84.8
D1	7.6 a	10.7 a	54.2 a	2318.1 a	89.4
SF	5.2 b	7.3 b	36.4 b	1573.6 b	73.9
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***	0.2109ns
Variedad					
SEDA	7.7	9.3	49.8 a	1987	105 a
Amadeus	6.8	9.3	43.3 b	2007.4	60 b
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	0.1128ns	0.9512 ns	0.0312*	0.8765ns	<0.0001***

^{ns}, No significativo, significativo al $P \leq 0.05$ y medianamente significativo al $P \leq 0.01$. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.

Cuadro 8. Resultados del análisis de la interacción de factores estudiados en el efecto del biol en el rendimiento del cultivo frijol.

	Biomasa seca (g/pl)	Vainas (No./pl)	Granos (No./pl)	Rendimiento (kg/ha)	Longitud raiz (m)
Suelo*Dosis					
FAZ*D2	9.4	10.3 a	52.4 ab	2224.4 ab	101.2
FAZ*D1	8.8	11.1 a	56.8 a	2493.3 a	83
PIF*D2	8.3	9.6 a	45.9 b	1975.4 b	68.37
FAZ*SF	6.8	9.8 a	52.0 ab	2317.3 ab	81.82
PIF*D1	6.4	10.3 a	51.6 ab	2143 ab	95.94
PIF*SF	3.6	4.8 b	20.8 c	830 c	65.99
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	0.3029 ns	0.0004***	0.0003***	<0.0001***	0.1160 ns
Suelo*Variedad					
FAZ*SEDA	8.7	10	54.27	2169.9 ab	109.7
FAZ*Amadeus	8	10.8	53.2	2590.9 a	67.63
PIF*SEDA	6.6	8.6	45.3	1804.9 bc	101.5
PIF*Amadeus	5.6	7.8	33.5	1494 c	51.95
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	0.7937 ns	0.1306 ns	0.0703 ns	0.0024**	0.6474 ns
Variedad*Dosis					
SEDA*D2	9.5	9.8	52	1958.8	113.5
Amadeus*D2	8.2	10.1	46.3	2241	56.02
SEDA*D1	7.8	10.7	56.4	2335.6	112.2
Amadeus*D1	7.4	10.7	52	2300.7	66.71
SEDA*SF	5.7	7.5	41	1666.6	91.17
Amadeus*SF	4.8	7.1	31.8	1480	56.64
R ²	0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P	0.8051 ns	0.8593 ns	0.7523 ns	0.2904 ns	0.4704 ns

^{ns}, No significativo, significativo al $P \leq 0.05$ y medianamente significativo al $P \leq 0.01$. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.

Cuadro 9. Resultado del análisis de la interacción de todos los factores en el efecto del biol en la producción del cultivo frijol.

Suelo	Dosis	Variedad	Biomasa seca (g/pl)	Vainas (No./pl)	Granos (No./pl)	Rendi- miento (kg/Ha)	Longitud raíz (m)
PIF	D1	A	5.8	9.4	46	1945.5	71
PIF	D1	S	7	11.2	57	2340.6	120
PIF	D2	A	8	9.8	39	1892.4	42
PIF	D2	S	8.6	9.4	52	2058.4	94
PIF	SF	A	3	4.2	14	644	41
PIF	SF	S	4.2	5.4	26	1015.6	90
FAZ	D1	A	9	12	58	2656	62
FAZ	D1	S	8.7	10.2	55	2330.6	103
FAZ	D2	A	8.5	10.4	52	2589.6	69
FAZ	D2	S	10.4	10.2	52	1859.2	133
FAZ	SF	A	6.5	10	48	2317.4	71
FAZ	SF	S	7.1	9.6	55	2317.4	92
R ²			0.66	0.85	0.95	0.93	0.58
Valor P			0.6566ns	0.4128ns	0.7960ns	0.6515ns	0.5691ns

^{ns}: No significativo, significativo al $P \leq 0.05$ y medianamente significativo al $P \leq 0.01$. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas.

4. CONCLUSIONES

- El aporte promedio de nitrógeno del biol obtenido de la granja de ganado porcino es de 1.3 kg/m^3 . Dicha concentración es poco variable con relación a la operación del biodigestor, lo que facilita su dosificación como fertilizante.
- El factor con mayor influencia en el rendimiento y la producción de biomasa fue el suelo. Esto se atribuye a las diferencias en contenido inicial de nutrientes materia orgánica presentes en el suelo de la Finca Agroecológica Zamorano, que potencian el desarrollo del cultivo.
- El biol aportó nutrientes y materia orgánica que se vieron reflejados en mejores resultados en la respuesta del cultivo al compararse con los rendimientos obtenidos en los testigos. No se obtuvieron diferencias significativas entre las dosis.
- La variedad SEDA se desarrolla mejor en suelos con bajo N y materia orgánica. Y la variedad Amadeus 77 se adapta mejor a suelos ricos en nutrientes y materia orgánica.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio en campo, para evaluar la influencia que el biol tiene en el frijol en condiciones no controladas.
- Evaluar el efecto que tiene el biol en otros cultivos de importancia alimenticia de la región como el maíz.
- Utilizar suelos altos en nitrógeno para determinar si el biol tiene efectos positivos, aún cuando el suelo brinda los nutrientes necesarios.
- Realizar un estudio en donde se compare la fertilización convencional con el biol tanto en campo como en invernadero.
- Evaluar el impacto del uso del biol en la mejora integral de suelos degradados, considerando el incremento en nutrientes y concentración de materia orgánica.

6. LITERATURA CITADA

- Benites, M. (2008). *Características fenotípicas de líneas de frijol común tolerantes a la sequía y a la baja fertilidad*. Tesis de licenciatura publicada, Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Bonilla, J. A. (1990). *Efecto del control de maleza y distancia de siembra sobre la cenosis de las malezas, crecimiento y rendimiento del frijol común (Phaseolus vulgaris) var. rev. 81*. Ingeniería thesis, Universidad Nacional Agraria, UNA.
- Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 26, 25-44.
- Cajamarca, D. (2012). *Procedimiento para la elaboración de abonos orgánicos*. Tesis de Ingeniería publicada, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Doran, J. W., & Parkin, B. T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Soil Science Society of America*.
- Escalante-Estrada, A., Rodriguez, M. T., & Escalante-Estrada, Y. (2014). Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2, 1-8.
- Food and Agriculture Organization. (2017). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y El Caribe*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i7914s.pdf>
- Food and Agriculture Organization Statistics. (2016). Recuperado de FAOSTAT: <http://www.fao.org/search/en/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=production+of+bean+in+honduras&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Fcountryprofiles%2Fen%2F&ref=www.fao.org%2Fcountryprofiles%2Fdata-sources%2Fen%2F&ss=6784j16867128j20>
- Fondo para la Protección del agua. (2010). *Abonos orgánicos: Protegen el suelo y garantizan la alimentación sana*. Recuperado de: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). *CADENA DE VALOR DE MAÍZ BLANCO Y FRIJOL EN CENTRO AMÉRICA: Actores, problemas y acciones para su competitividad*. Recuperado de: <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/B3427e.pdf>
- Khieu, B., & Frankow-Lindberg. (2006). The Effects of Effluent from Biodigesters Loaded with Pig or Cow Manures on Soil Fertility and Forage Yield of Cassava Grown as a Perennial Crop. *Biological Agriculture and Horticulture*, 24, 91-104.

- Lata-Tenesaca, L., Villaseñor-Ortiz, D., & Chabla-Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo fréjol. *Universidad y sociedad [seriada en línea]*, 20-27.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2009). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Tesis de Ingeniería publicada Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Mora, M. G. (2004). *Guía para producir frijol con ferirriego por goteo y labranza de conservación de Querétaro*. Recuperado de: http://www.inifap.gob.mx/circe/Documents/publique/PRODUCCION_FRIJOL_FERTIRRIEGO_GOTEO_QUERETA_RO.pdf.
- Moreno, E., & Flores, K. (2015). *Calidad de semilla de once variedades criollas, acriolladas y mejoradas de frijol común y cuatro de maíz proveniente de los municipios de San Ramón, San Dionisio, Darío y Matagalpa*. Tesis de Ingeniería publicada Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Ortiz, Á. (2010). *Evaluación de tres fertilizantes orgánicos a tres dosis diferentes sobre la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol en condiciones urbanas*. Tesis de Licenciatura publicada, Bogotá, Colombia.
- Paredes, C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. Tesis de Ingeniería publicada, Pontificia Universidad Católica Argentina, Carolina, Argentina.
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (2001). *Área de suelo y aguas cátedra de fertilidad: Nitrógeno*. Montevideo.
- Rodríguez, G. O., Armas, F. C., & Pacaya, C. G. (2014). *Efectos de los fertilizantes químicos en el suelo por producción de arroz*. Tarapoto: Universidad Peruana Unión.
- Rodríguez, M., & Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficios. *Nociones básicas del fertirriego*, 25-26.
- Santin, E. (2017). *Efecto de la aplicación del biol en el cultivo frijol (Phaseolus Vulgaris) variedades Amadeus 77 y Deorho, Zamorano Honduras*. San Antonio de Oriente, EAP Zamorano.
- Schwartz, H., & Gálvez, G. (1994). Desórdenes nutricionales. En CIAT, *Problemas de producción del Frijol* (pp. 350-351). Cali.
- Urzúa, H. (2005). Beneficios de la fijación simbiótica en Chile. *Ciencia E Investigación Agraria*, pp 133-150.

Warnars, L., & Oppenoorth, H. (2014). *Estudio sobre el biol, sus usos y resultados*. Hivos people unlimited.