

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Químico**

**Título:** Efecto del digestato anaerobio de estiércol porcino y de microorganismos eficientes sobre el comportamiento agroproductivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*L.)

**Autor:** Julio Yoel Alemán Der

**Tutor:** MSc. Alejandro Pérez Ponce

**Curso:** 2016 – 2017

“Año 59 de la Revolución”

## Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

### Declaración de Autoridad:

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Química; autorizando a que el mismo sea utilizado para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total, y además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esa envergadura, referido a la temática señalada.

---

Información Científico – Técnica

Firma

---

Firma de Vicedecano

---

Firma de Tutor

---

Sistema de Documentación de Proyecto

## **Pensamiento**

*“La naturaleza no ha podido formular una pregunta a la que no haya que dar al fin respuesta”*

*José Martí*

## **Agradecimientos**

*A mis padres por estar junto a mi cada instante, brindándome siempre su apoyo incondicional y fuerza interior, para que saliera victorioso en este camino que decidí emprender.*

*A mi novia por sus cuidados, atenciones y el amor que me profesa cada día.*

*A mis amigos y compañeros de aula, especialmente a Vanessa, por mostrarme durante todo este tiempo el verdadero valor de la vida.*

*A todo el claustro de profesores y jefes de carrera por los conocimientos y valores inculcados en mi, a lo largo de estos cinco años.*

*A mi tutor le agradezco de manera muy especial por su dedicación, entrega, sacrificio, apoyo y paciencia, por haberme tomado de la mano y depositarme toda su confianza hasta el último momento de esta investigación.*

## Dedicatoria

*A mi familia y tutor.*

*A las instituciones que colaboraron con la investigación:*

- *Delegación Provincial de la Agricultura, Cienfuegos.*
- *Empresa Productora y Comercializadora de Semilla, Cienfuegos.*
- *Laboratorio de Biogás e Ingeniería Ambiental de la Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez".*
- *Laboratorio de Recursos Hidráulicos, Cienfuegos.*
- *Estación Meteorológica de Cienfuegos.*
- *Laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.*
- *Laboratorio Provincial de Diagnóstico Veterinario, Villa Clara.*
- *Universidad de Cienfuegos.*

## **Resumen**

Con el objetivo de determinar el efecto del digestato resultante del tratamiento anaerobio de estiércol porcino y su mezcla con microorganismos eficientes en el comportamiento agroproductivo del cultivo del frijol común, se desarrolló la investigación durante el período enero-marzo de 2017 en las áreas de la finca “Las Cruces”, ubicada en la provincia de Cienfuegos. El experimento de abonado foliar se realizó mediante un diseño de bloques al azar que implicó 10 tratamientos x tres replicas en parcelas de 4 m<sup>2</sup>, con la aplicación al 8, 12, y 16 % de los bioproductos: T1 a T3/digestato, T4 a T6/microorganismos eficientes y T7 a T9/mezcla de digestato-microorganismos eficientes. Fueron caracterizados los bioproductos, el suelo, agua de riego y se evaluaron los principales indicadores morfoproductivos, tales como: el número promedio de hojas por plantas, cantidad de legumbres por planta, cantidad de granos por legumbres y el rendimiento, entre otros. El análisis de varianza mediante test de Tukey ( $P < 0,05$ ) y las pruebas de regresión simple, se realizaron con Statgraphics Centurión v.XVI. Con la aplicación de la mezcla de digestato y microorganismos eficientes al 16 % se logró un incremento del 81,1 % de los rendimientos respecto al testigo. Se reveló la posibilidad de mejorar los costos de producción y las ganancias en la comercialización de frijol común.

**Palabras Claves:** *biodigestor, digestión anaerobia, digestato, abono foliar.*

## **Abstract**

With the objective of determining the effect of the digestate resulting from the anaerobic treatment of porcine manure and its mixture with microorganisms efficient in the agricultural production behavior of the common bean crop, the research was developed during the period January-March 2017 in the areas of the farm "Las Cruces", located in the province of Cienfuegos. The foliar fertilizer experiment was performed using a randomized block design involving 10 treatments x three replicates in 4 m<sup>2</sup> plots, with application to 8, 12 and 16 % of the bioproducts: T1 to T3 / digestate, T4 to T6 / efficient microorganisms and T7 to T9 / mix of digestate-efficient microorganisms. The bioproducts, soil, and irrigation water were characterized and the main morphoproductive indicators were evaluated, such as: average number of leaves per plant, number of legumes per plant, number of grains per legume and yield, among others. Analysis of variance using Tukey's test ( $P < 0,05$ ) and simple regression tests were performed with Statgraphics Centurion v.XVI. With the application of the mixture of digestate and microorganisms efficient to 16 % an increase of 81,1% of the yields was obtained with respect to the control. It was revealed the possibility of improving production costs and profits in the commercialization of common bean.

**Key words:** *Biodigestor, anaerobic digestion, digestate, foliar fertilizer.*

## Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. Estudio documental del digestato y de microorganismos eficientes para la producción de frijol común.....	5
1.1. Generalidades del cultivo de frijol común.....	5
1.2. Influencia de los factores que limitan la producción de frijol común.....	8
1.2.1. Factores climáticos.....	9
1.2.2. Factores edáficos.....	11
1.3. Fertilización foliar en la producción de frijol común.....	12
1.3.1. Utilización del digestato como abono orgánico.....	15
1.3.2. Aplicación de microorganismos eficientes.....	17
CAPÍTULO 2. Metodología para la aplicación del digestato y de microorganismos eficientes en la producción de frijol común.....	19
2.1. Descripción del sitio del experimento.....	19
2.2. Diseño experimental y manejo agronómico.....	20
2.3. Mediciones experimentales.....	22
CAPÍTULO 3. Resultados de la aplicación del digestato y de microorganismos eficientes en la producción de frijol común.....	28
3.1 Resultados de la caracterización del suelo, agua de riego y el abono foliar orgánico.....	28
3.2 Resultados del experimento de abonado foliar.....	32
Conclusiones.....	44
Recomendaciones.....	45
Bibliografía	
Anexos	

## Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es originario de América, tiene una distribución prácticamente universal y representa el alimento primordial para muchos países, en especial en América por su alto valor proteico (Socorro y Martín, 1998). Puede ser cultivado ampliamente en zonas tropicales y templadas de los hemisferios norte y sur. Se ubica como promedio entre los cinco cultivos con mayor superficie dedicada a la agricultura en todos los países latinoamericanos (de la Rosa, 2016).

En Cuba el descenso de los rendimientos de este grano se origina fundamentalmente por el déficit nutricional, así como por la incidencia de plagas y enfermedades (MINAGRI, 2003). Según Quintero y Guzmán (2005), sin incluir las áreas dedicadas al autoabastecimiento, se cultivan aproximadamente 52 000 ha de frijol, viéndose obligada a importar 120 000 t anuales de este grano, equivalente a 40 millones de dólares, pues la producción estatal solamente cubre el 5 % de la demanda (citado por Germiñe, 2016).

Los problemas económicos y ecológicos del mundo actual, han revitalizado la idea del reciclaje eficiente de los desechos orgánicos de la agricultura y el uso de productos biológicos como los biofertilizantes y los bioestimulantes, como alternativa para reducir al mínimo el empleo de fertilizantes minerales (López *et al.*, 2002). Así, la aplicación de bioproductos a los cultivos va teniendo cada vez más importancia, desde el punto de vista económico y ecológico, además de que actúan como estimuladores o reguladores del crecimiento de las plantas (Hernández *et al.*, 2011).

En este sentido, los efluentes de la digestión anaerobia de residuos orgánicos (agrícolas, forestales y agropecuarios), constituyen una alternativa para el uso de estos como biofertilizantes, cuyas propiedades han sido demostrados por varios autores. Por su parte, los microorganismos eficientes (ME), constituyen una tecnología que promueven la germinación, enraizamiento y crecimiento de los materiales sembrados por la acción de hormonas, aminoácidos y sustancias antioxidantes que contiene, a la vez que establece microorganismos benéficos en el sistema radicular que compiten con patógenos.

Varios estudios de fertilización foliar a base de productos orgánicos han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, sin embargo, los incrementos de

rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables dependiendo en primer lugar del cultivo que se trate, así como de la naturaleza de las formulaciones (sustrato, proceso de obtención y sus concentraciones), de su complementación con un enfoque integral de la fertilización y de las condiciones edafoclimáticas.

En este sentido, los microorganismos eficientes (ME), constituyen un consorcio o cultivo mixto de microorganismos beneficiosos de origen natural, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales y fisiológicamente compatibles unos con otros (Higa, 1997). Este consorcio está compuesto, principalmente, por levaduras, Bacterias fototróficas, bacterias ácido lácticas y actinomicetos, cuyo metabolismo coordinado y combinado resulta beneficioso como bioestimulante de diferentes procesos.

La utilización de ME en la propagación de las plantas tiene como objetivo promover la germinación, enraizamiento y crecimiento de los materiales sembrados por la acción de hormonas, aminoácidos y sustancias antioxidantes que contiene, y establecer microorganismos benéficos en el sistema radicular que compitan con microorganismos patógenos (Gil *et al.*, 2005).

Por su parte, los efluentes de la digestión anaerobia de residuos orgánicos (agrícolas, forestales y agropecuarios), constituyen una alternativa para el uso de estos como biofertilizantes, cuyas propiedades han sido demostrados por varios autores (Álvarez, 2004; Owamaha *et al.*, 2014).

Estudios de Barrios y Siura (2001), evaluaron los rangos de concentración del efluente líquido (digestato o Biol) más adecuados en el cultivo de vainita cv. Bush Blue Lake, obtenido de un digestor de cúpula fija de 10 m<sup>3</sup> alimentado con estiércol vacuno lechero. Estos autores, consideran tres aplicaciones con concentraciones que varían de 10 al 100 %, esta última presentó los mejores resultados mediante tratamientos foliar y al suelo que aumentaron la producción en un 11,6 y 12,3 % respectivamente en relación con el testigo. No detectaron efectos sobre el adelanto o retardo de la floración y se evidencia que dosis superiores al 10 % aumentaron la presencia de nematodos en el suelo y raíces, de igual forma varía el grado de nodulación de las raíces.

Otros estudios en la Provincia de Sancti Spiritus aplicaron diferentes concentraciones del digestato y su mezcla con microorganismos eficientes (5-10-15%) tuvieron en

efecto positivo en el comportamiento agrícola de las variedades de frijol común Buena Ventura y Bat-304 al incrementar los indicadores morfoproductivos y los rendimientos de este cultivo respecto al testigo en un 41,4 % ( $1,04 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para los frijoles de testa roja con aplicación de 5 % de digestato y un 10,6% ( $0,85 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para los de testa negra con aplicación de 15 % de digestato y de microorganismos eficientes (Jiménez y de la Rosa, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que la producción de esta legumbre de buena calidad y la fertilización son premisas fundamentales para la obtención posterior de buenos rendimientos agrícolas, los cuales son dos de los problemas fundamentales diagnosticados en la provincia de Cienfuegos en la producción de este grano, se decidió someter a estudio la aplicación del digestato, de los microorganismos eficientes y su mezcla, como fuente alternativa en la nutrición de este cultivo.

Por ello surge el siguiente **problema científico** ¿cómo estimular el comportamiento agroproductivo del cultivo de frijol común con la aplicación de digestato anaerobio de estiércol porcino y de microorganismos eficientes?

### **Hipótesis**

Si se utiliza el digestato resultante del tratamiento anaerobio de estiércol porcino y los microorganismos eficientes como fuente alternativa en la nutrición del frijol común, entonces se podrá obtener un incremento en el comportamiento agroproductivo del cultivo.

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto del digestato resultante del tratamiento anaerobio de estiércol porcino y los microorganismos eficientes en el comportamiento agroproductivo del cultivo de frijol común.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar los fundamentos que sustentan el estado actual del cultivo de frijol común y la utilización del digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos.
2. Caracterizar el estado actual de la situación edafoclimática, del agua de riego, del digestato anaerobio de estiércol porcino y los microorganismos eficientes.
3. Ejecutar el experimento de fertilización foliar a partir del digestato anaerobio de

estiércol porcino y de microorganismos eficientes en el cultivo de frijol común.

4. Valorar el comportamiento agroproductivo del cultivo de frijol común y su rentabilidad.

## **CAPÍTULO 1. Estudio documental del digestato y de microorganismoseficientes para la producción de frijol común**

El presente capítulo aborda los fundamentos que sustentan el reuso del digestato anaerobio del estiércol porcino en el abonado foliar orgánico del cultivo de frijol común Generalidades del cultivo de frijol común. A partir de la literatura consultada se hace referencia a la composición, propiedades y aplicaciones del efluente de plantas de biogás. Se sistematizan las prácticas agronómicas en el cultivo sujeto a estudio, con énfasis en el abonado foliar orgánico.

### **1.1. Generalidades del cultivo de frijol común**

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), se cultiva con un rendimiento promedio de 0,683 t·ha<sup>-1</sup> ( Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura /FAO, 2002) destacándose la India, Brasil, México, Argentina, Chile y Nicaragua, con una superficie total cosechada de 26 836 860 ha y niveles de producción de 18 334 318 t. En los países de Centroamérica se cultivan aproximadamente 500 000 ha y en el Caribe, particularmente Cuba, República Dominicana y Haití, la cifra asciende a 250 000 ha. El frijol común se ubica entre los cinco cultivos con mayor superficie dedicada a la agricultura en todos los países latinoamericanos (Peña, 2002). Sin incluir las áreas dedicadas al autoabastecimiento, en Cuba, se cultivan aproximadamente 52 000 ha de frijol, viéndose obligada a importar 120 000 t anuales de este grano, equivalente a 40 millones de dólares, pues la producción estatal solamente cubre el 5 % de la demanda (Quintero y Guzmán, 2005; citado por Germiñe, 2016).

#### **Labores culturales**

Para su normal desarrollo el frijol necesita que su ciclo vital transcurra en un período con temperaturas cálidas moderadas, suficientes pero no excesivas lluvias durante la fase vegetativa y parte de la reproductiva, un período seco durante la fase de maduración y cosecha del grano, y que la humedad del aire no permanezca con valores superiores a 80-85 % durante varios días en su período vegetativo, ya que se pueden presentar enfermedades fungosas o bacterianas capaces de destruir la cosecha, o al menos, disminuir los rendimientos. En Cuba especialistas del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), establecieron el período de siembra entre la primera quincena de septiembre y de enero donde se cuente con regadío, estableciendo

algunas regulaciones con el uso de variedades en relación a la fecha de siembra. No obstante está demostrado que puede sembrarse hasta febrero, pero en este caso aumenta el riesgo de pérdidas en cosecha por la aparición de las lluvias en el mes de mayo. En este caso no deben hacerse siembras de grandes extensiones (Quintero, 1996; MINAGRI, 2003).

En Cuba se utiliza fundamentalmente el sistema de monocultivo para este cultivo, no obstante algunos productores, generalmente privados, suelen establecer asociaciones en las siembras de frío de caña de azúcar, así como en plantaciones en fomento de plátanos y frutales, utilizando el frijol como cultivo secundario. También cuando el frijol constituye el cultivo principal algunos productores acostumbran intercalar con maíz a densidades bajas. Hay además algunas experiencias con girasol y con sorgo. Como cultivo de rotación el frijol es muy adecuado para alternar con cultivos de poaceas. En Cuba es clásica la alternancia frijol - maíz, sembrando la leguminosa en el período otoño - invierno y el de maíz en el de primavera - verano. De esta forma el maíz, que es exigente en nitrógeno, aprovecha el aporte del frijol como planta fijadora de este elemento.

El cultivo se debe mantener libre de maleza durante los primeros 40 días, que es cuando más compiten con el frijol. Las etapas más importantes en las que se debe controlar la maleza es antes de la siembra para evitar que se arraiguen y después de la siembra entre los 30 - 40 días después de la siembra. La eliminación de las malezas puede hacerse con dos escardas. La primera se realiza de 20 a 25 días después de la siembra y la segunda de 20 a 25 días después de la primera. La maleza que aparezca después de las escardas se debe eliminar para que no interfiera con las labores de cosecha (Sueiro, Rodríguez y De la Cruz, 2011).

### **Manejo del agua**

Es necesario aplicar el riego de pre siembra de cinco a 12 días antes de la fecha de siembra. No es recomendable la siembra en seco por la gran cantidad de maleza que aparece junto con el cultivo y compiten en desarrollo con él.

El riego de pre siembra deberá darse de forma que el suelo se humedezca uniformemente, de este dependerá la germinación, emergencia y primeras etapas de desarrollo de la planta. Aproximadamente entre los 30 y 40 días la planta alcanzará su

tercer trifolio. A partir del primer riego, se darán los siguientes riegos a intervalos de 15 a 20 días. Es necesario que no falte la humedad en el suelo al iniciar la floración, la formación de las primeras vainas y cuando se empiece a llenar el grano, ya que en estas etapas las plantas son más susceptibles a la falta de humedad en el suelo. En estas etapas, la falta de humedad causa la caída de flores y vainas; además es importante indicar que el riego después de una falta prolongada de humedad causa efecto similar (Tapuach, 2004).

### **Fases y etapas de desarrollo de la planta de frijol**

Según Henríquez *et al.*, (1995); el desarrollo del cultivo del frijol tiene dos fases: la vegetativa y la reproductiva. La primera abarca desde la germinación de la semilla hasta el comienzo de la floración y la segunda se extiende desde la floración hasta la madurez de cosecha. El ciclo biológico del frijol cambia según el genotipo y los factores del clima; durante el desarrollo de la planta se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que sirven de base para identificar las etapas de desarrollo del cultivo.

#### **Fase vegetativa**

La fase vegetativa se inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta (Henríquez *et al.*, 1995).

#### **Fase reproductiva**

Esta fase se encuentra comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales o los racimos y la madurez de cosecha. En las plantas de hábitos de crecimiento indeterminado continúa la aparición de estructuras vegetativas cuando termina la fase vegetativa, lo cual hace posible que una planta esté produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallos, flores y vainas (Socorro y Martín, 1989).

#### **Etapas de desarrollo de la planta de frijol**

Fernández y col (1986), plantean que a lo largo de las fases vegetativa y reproductiva del cultivo de frijol se han identificado 10 etapas de desarrollo (López y Pouza, 2014). Cada una de éstas comienza con un evento del desarrollo de la planta con cuyo

nombre se le identifica y termina donde se inicia la siguiente etapa y así sucesivamente. El conjunto de estas 10 etapas forma la Escala de Desarrollo de la planta.

De acuerdo a lo reportado por Henríquez *et al.*, (1995) la duración de las distintas etapas está afectada por factores que incluyen el genotipo (cuyas características, hábitos de crecimiento y precocidad pueden variar), y el clima. Existen otros factores tales como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas. A continuación, en la figura uno, se representan las etapas de desarrollo del cultivo según las fases del frijol.

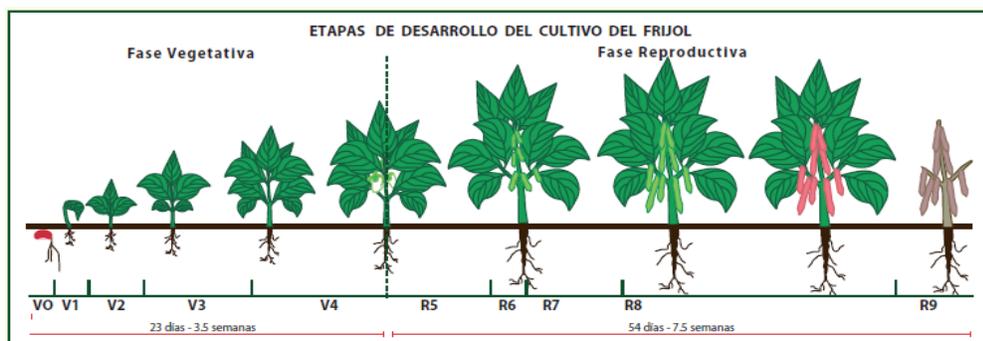


Figura 1. Etapas del desarrollo de la planta de frijol (IICA, Red SICTA, COSUDE y ASOPROL; 2009)

### Período y método de cosecha

La cosecha debe realizarse cuando las hojas tengan un color amarillo limón y las primeras vainas estén casi secas. El arranque de las plantas se debe realizar por la mañana para evitar el desgrane de las vainas secas. La semilla debe guardarse en un lugar limpio y seco para esperar el tiempo de comercialización. Se debe cosechar y trillar oportunamente el frijol para evitar pérdidas por desgrane (ONE, 2009).

### 1.2. Influencia de los factores que limitan la producción de frijol común

La producción de frijol es afectada por muchos factores agronómicos como son la fertilidad del suelo, suelos con inadecuadas condiciones físicas, la presencia de plagas y enfermedades, deficiente calidad de la semilla y su conservación, condiciones climáticas adversas. En Cuba el descenso de los rendimientos de este grano se origina fundamentalmente por el déficit nutricional así como por la incidencia de plagas y enfermedades (MINAGRI, 2003). Por la naturaleza de esta investigación, a continuación, se profundizará en torno a los factores climáticos y edáficos.

### **1.2.1. Factores climáticos**

Según Socorro y Martín (1989), la influencia de los factores climáticos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol es de gran importancia debido a las afectaciones que puede producir.

El frijol *P. vulgaris* en general no se adapta a los trópicos húmedos, más crece bien en áreas con lluvias regulares, desde los trópicos hasta las zonas templadas. Es muy sensible tanto a las heladas como a las altas temperaturas, en la cual se presenta abscisión excesiva de los órganos reproductores. Condiciones de seca durante la época crítica de florecimiento e hinchamiento de las vainas son también muy perjudiciales. De la misma manera el exceso de lluvia causa la caída de las flores y aumenta la ocurrencia de enfermedades (Zimmermann, 1990).

Cuba está situada al norte del Ecuador entre los 19 y 23°C, muy cerca del Trópico de Cáncer; lo que le permite tener un clima casi ideal en condiciones de trópico. En el verano promedia 14 h de luz y en el invierno 12,5 h. La temperatura media anual es de 26°C con variaciones desde poco menos de 10°C en invierno, hasta 35°C en verano. La humedad del aire oscila entre 60 y 90 % en dependencia de la época del año y la hora del día. Las precipitaciones varían por regiones de menos de 700 mm anuales hasta más de 2000 mm; la media nacional oscila entre 1200 y 1300 mm anual, pero hay importantes diferencias entre años (Torres *et al.*, 2015).

La forma, un tanto variable con que se presentan los factores climáticos obligan a establecer pronósticos a partir de los datos históricos acumulados, sobre todo de la incidencia de las lluvias, altas o bajas temperaturas, vientos, etcétera (Socorro y Martín, 1989).

#### **Influencia de la temperatura**

Este factor influye sobre el cultivo del frijol durante todo su ciclo. La planta de frijol crece bien en temperaturas promedios de 15 a 27 °C, pero hay un gran rango de tolerancia entre variedades diferentes. Una planta es capaz de soportar temperaturas extremas (5 a 40 °C) por cortos períodos, pero mantenida a tales extremos por un tiempo prolongado, ocurren daños irreversibles (Write, 1985; Writey Izquierdo, 1991; Burin, 1991).

Las temperaturas bajas retardan el desarrollo de la planta, pudiendo acentuarse en las siembras tardías de diciembre y enero. Las temperaturas altas inducen el aborto de las flores, aumentan la tasa de evapotranspiración y ocasionan el marchitamiento de la planta si hay un suministro insuficiente de humedad en el suelo. La temperatura óptima está comprendida entre los 22 y 26 °C; cuando la temperatura pasa los 26 °C se afecta el sistema reproductivo debido al bajo poder germinativo del polen y de la escasa formación de sustancia encargada de retener los frutos. En Cuba se considera esta causa como una limitante de la producción en verano (Zimmermann, 1990).

### **Influencia de la humedad**

Influye directamente sobre las funciones fisiológicas que realiza la planta, como por ejemplo la transpiración, la respiración y la fotosíntesis. De forma indirecta propicia el medio adecuado para el desarrollo de agentes patógenos que ocasionan daño al follaje. Se considera que una humedad del 70 % es adecuada para el buen desarrollo de la planta del frijol (Socorro y Martín, 1998).

Duarte (1990), planteó que el rendimiento del frijol se afecta notablemente desde la 24 h de inundación; con 96 h se produjo una reducción del 94 %. La inundación durante la floración afectó el desarrollo normal de la planta, el rendimiento, el número de vainas/plantas y el peso de 100 granos. Según estudios realizados por Burin (1991), precipitaciones excesivas después del estado de floración provocan un alto porcentaje (77 %) de abscisión floral. Cuando las raíces están en un ambiente completamente saturado en agua, el oxígeno llega a ser un factor limitante y el funcionamiento de las raíces sufre notablemente (Write, 1985).

Estos Gutiérrez, (1990); Acosta, (1991); Acosta y Adams, (1992) plantearon que las etapas más susceptibles a la deficiencia de agua son: floración, formación y crecimiento de las vainas.

Según Duarte, (1990) y Gallardo y Paredes, (1991), plantearon que una cantidad de agua entre 30 y 40 cm, incluyendo riego y precipitaciones, produce el máximo rendimiento de frijol. Los estudios realizados por Samadi y Sepasckhah, (1991), sugieren el riego suplementario por surcos común en el estado de llenado de las vainas para obtener el mayor rendimiento.

### **Influencia de la luz**

La luz es un factor climático de particular implicación en la productividad del frijol, se sabe que su acción condiciona el crecimiento y desarrollo de la planta por constituir la fuente de energía para los fenómenos fotoquímicos que regulan los procesos fisiológicos de la planta. No obstante, es difícil determinar su efecto sobre la planta en forma aislada, debido a la vinculación estrecha que mantiene con otros factores como la temperatura y la humedad. La acción de la luz sobre la planta de frijol se puede estimar en función de la cantidad recibida (que depende directamente de la duración del día y la radiación efectiva), así como de la calidad de esta, que depende del tipo de radiaciones (Socorro y Martín, 1998).

La luz puede causar cambios dramáticos en el patrón de crecimiento por medio de efectos del fotoperíodo, reacción muy importante para trabajo de adaptación de nuevas líneas. Siendo el frijol una especie de días cortos, días largos tienden a causar demoras en la floración y madurez, generalmente cada hora más de luz puede retardar la maduración de dos a seis días. Se especula que el mismo sistema de pigmentos que controla respuesta a fotoperíodo regula la elongación de tallos bajo condiciones de sombra o iluminación, usando luz con un fuerte componente rojo (Write, 1985).

El frijol es un cultivo de día corto; por tanto, la floración se ve favorecida por fotoperíodos inferiores a doce horas con largos períodos de oscuridad, lo cual se manifiesta en Cuba a partir del mes de octubre (Socorro y Martín, 1998).

### **Influencia de los vientos**

Los vientos tienen una influencia negativa cuando se manifiestan con altas velocidades, ya que como las plantas tienen un gran volumen foliar, aumenta la velocidad de transpiración, por tanto, no siempre puede reponerse bien del desecamiento que se produce en las hojas, por las limitaciones que presenta el sistema radical (Socorro y Martín, 1998).

### **1.2.2. Factores edáficos**

Los factores edáficos, que representan las características y propiedades del suelo, tienen una doble implicación relacionada con la vida de las plantas, ya que facilitan el medio de sustentación y el medio de nutrición. En forma menos directa, pero no por ello menos importante, en el caso de las leguminosas, es que el suelo facilita el desarrollo a las colonias de microorganismos (bacterias) que conviven con este tipo de planta y que

tanto beneficio reportan por su acción fijadora del nitrógeno atmosférico (Socorro y Martín, 1998).

Actualmente existe una justificada preocupación por la degradación del suelo y sus efectos adversos sobre la productividad agrícola y calidad del ambiente. El deterioro del suelo, que comprende procesos tales como: erosión, pérdidas de materia orgánica, compactación, salinización, contaminación y reducida actividad biológica se ha extendido ampliamente en los suelos agrícolas, como consecuencias de prácticas de producción más intensivas y por la expansión de la agricultura en ambientes más frágiles (Troncoso, 1997).

Una de las alternativas para resolver algunos problemas de física de los suelos es la adición de materiales orgánicos, como es el caso del estiércol, ya que se ha observado mejora las propiedades físicas, además aporta cantidades considerables de materia orgánica que constituye uno de los cuatros componentes principales del suelo, por esta razón, es conveniente mantener un nivel adecuado, sobre todo en aquellos suelos con una baja estabilidad estructural (Novoa *et al.*, 1992).

Las situaciones que favorecen la acumulación de materia orgánica en el suelo, incrementan la cantidad y la proporción de biomasa en la materia orgánica total del suelo. Los organismos del suelo pueden promover una mayor estabilidad de los agregados del suelo, la pérdida de materia orgánica y en particular, pérdida en el componente microbiano, puede afectar adversamente las características físicas, biológicas y nutricionales del suelo. Las mediciones de la biomasa pueden revelar los cambios ocasionados por el manejo del suelo (Troncoso, 1997).

### **1.3. Fertilización foliar en la producción de frijol común**

El manejo de la fertilización foliar en la agricultura es cada vez más frecuente por la demanda nutricional de los cultivos de altos rendimiento, donde el objetivo generalmente es suplir los requerimientos nutricionales en épocas críticas (caso micronutrientes esenciales); acortar o retardar ciclos en la planta e inducir etapas específicas fenológicas, además, de contrarrestar condiciones de stress en la planta; aporte energético en etapas productivas o nutrición foliar con fines de sanidad vegetal.

Los procesos mediante los cuales una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es asimilada por las plantas incluyen: contacto con la hoja y adsorción a la

superficie de la misma, penetración cuticular-estomática a través de otras estructuras epidérmicas, absorción celular y penetración en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja, y finalmente, la translocación y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta (Fernández, Sotiropoulos y Brown, 2015).

Las estructuras y superficies aéreas de las plantas están bien adaptadas para controlar el intercambio bidireccional del agua y gases, y limitar así la pérdida de nutrientes, metabolitos y agua interna desde la planta al medioambiente en condiciones desfavorables. Estas mismas características que protegen a la planta del estrés ambiental y regulan el intercambio de agua, gases y nutrientes son las mismas que afectan la absorción foliar de los nutrientes aplicados. Mejorar la eficacia y la reproducibilidad de la fertilización foliar requiere conocer los atributos físicos y químicos de la superficie de las plantas así como los procesos de penetración.

Las superficies aéreas de las plantas generalmente están cubiertas por una capa denominada cutícula de carácter generalmente hidrófobo. Adicionalmente las superficies vegetales a menudo poseen, células epidérmicas modificadas como tricomas y estomas. La superficie externa de la cutícula está cubierta por ceras que confieren un carácter hidrofóbico a la superficie de la planta. El grado de hidrofobicidad y polaridad de cada superficie vegetal en particular dependerá de la especie, su composición química y topografía (rugosidad) específica. Como las hojas, los frutos, las flores y los tallos también están protegidos por una cutícula y pueden contener estructuras epidérmicas como estomas o tricomas que pueden modular la tasa de transpiración y contribuir a la absorción y transporte de agua y nutrientes críticos para el crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos y las cosechas (Gibert y Lescourret, 2005; Morandi y Manfrini, 2010).

El frijol es una planta dicotiledónea de consistencia herbácea, con hojas alternas compuestas por tres folíolos (dos laterales y uno terminal o central). Los folíolos son grandes, ovalados y con extremos acuminado o en forma de punta. Posee un nervio central y un sistema de nervaduras ramificadas en toda el área del limbo foliar (Quintero, 2002). En cuanto a la forma en que penetran los nutrientes en estas, se pueden definir dos movimientos (De Gauggel y Castellano, 2009; Abarca, 2011):

- ❖ Hacia el tejido desde el exterior, que se conoce como absorción.

❖ Desde el punto de penetración hacia otras partes de la planta, conocido como translocación.

De acuerdo con estos autores la absorción puede ser realizada a través de diversos elementos que existen en el tejido. La penetración principal se realiza directamente a través de la cutícula y se realiza en forma pasiva. Los primeros en penetrar son los cationes (elementos con carga positiva) dado que éstos son atraídos hacia las cargas negativas del tejido y se mueven pasivamente de acuerdo al gradiente (alta concentración afuera y baja concentración adentro). Luego de un cierto período, los cationes que se han movido hacia dentro modifican el equilibrio eléctrico en el tejido interno provocando que éste sea menos negativo y más positivo. Los aniones (elementos con carga negativa) comienzan a penetrar el tejido como se ha descrito para los cationes.

Luego de que los iones hayan penetrado comienza su transporte hacia las diferentes partes de la planta, esto se conoce con el nombre de translocación y ocurre mediante dos mecanismos:

1. Transporte célula a célula, conocido como "movimiento apoplástico".
2. Transporte a través de los canales vasculares, conocido como "movimiento simplástico".

El movimiento apoplástico describe el movimiento desde una célula hacia la otra. El transporte de nutrientes de una célula a otra se da por difusión (de mayor concentración a menor concentración), este proceso se da por medio de los plasmodesmos, que son canales microscópicos que conectan una pared de la célula con otra permitiendo el transporte y la comunicación entre ellas.

El movimiento simplástico, describe la descarga del ion en el sistema vascular. El transporte de los nutrientes se da a través de toda la planta, desde los puntos de absorción hacia los puntos donde la planta requiere los nutrientes para su metabolismo. El movimiento de los nutrientes en la planta está dado por la movilidad de los iones dentro de la misma, por lo tanto, los nutrientes se dividen en tres grupos: móviles (nitrógeno, fósforo, potasio y azufre); parcialmente móvil (zinc, cobre, hierro y manganeso) y poco móvil (calcio y magnesio).

En la tabla siguiente se evidencia la velocidad con que los nutrientes son absorbidos por las hojas del frijol, así como las cantidades que se absorbe, siendo altas para el nitrógeno, potasio y calcio, y menores para el azufre, magnesio y fósforo (Tabla 1).

**Tabla 1. Velocidad de absorción de diferentes nutrimentos en la hoja de frijol**

Elemento	Porcentaje de absorción en función del tiempo, h				
	6 h	24 h	48 h	96 h	192 h
N	55	80	90	95	98
K	50	70	80	90	95
Na	48	65	70	80	90
Cl	31	40	50	60	80
Zn	30	50	60	65	70
Ca	7	28	35	50	70
S	7	22	30	45	60
P	5	15	25	35	50
Mn	11	20	22	30	40
Ba	6	21	30	40	65
Sr	2	10	18	30	34
Fe	3	6	8	12	15

Fuente: Trinidad y Aguilar (2000).

### 1.3.1. Utilización del digestato como abono orgánico

La fracción líquida resultante del fango proveniente de fermentadores o digestores es decantada o sedimentada obteniéndose una parte líquida a la cual se le llama comúnmente Biol. Este término (Biol) es aceptado por la Red Latinoamericana de Energías Alternas, no obstante, en una buena parte de la literatura consultada se denomina Digestato al efluente líquido de la digestión anaerobia. En lo adelante son asumidas ambas designaciones para hacer mención al efluente líquido.

Durante el proceso de digestión anaeróbica dentro del biodigestor, el carbono es el único elemento que es emitido en cantidades considerables bajo condiciones normales. Otros nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) se mantienen en iguales cantidades, pero salen en una mayor concentración en el efluente, dado que el estiércol ha sido digerido dentro del biodigestor y se ha reducido su volumen (Botero, 2006). Sus propiedades y constituyentes dependen esencialmente de los materiales utilizados para la digestión anaeróbica, así como por el proceso de digestión mismo. Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma a Biol.

El uso de estos efluentes es una estrategia que permite aprovechar el estiércol de los animales sometidos al proceso de fermentación anaeróbica, dando como resultado un

fertilizante que contienen principios hormonales vegetales (auxinas y giberelinas)(Cajamarca, 2012; Rojas, 2012).

Siendo el Biol una fuente de fitoreguladores, a diferencia de los nutrientes en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de la planta. De este modo se favorece el enraizamiento, la acción sobre el follaje, la mejora la floración y activa el vigor y el poder germinativo de las semillas, lo cual permite soportar con mayor eficiencia el ataque de plagas y efectos adversos del clima. El Biol cualquiera que sea su origen cuenta con estas fitohormonas por lo que encuentra un lugar importante dentro de la práctica de la agricultura orgánica, al tiempo que economiza los costos y mejora la productividad y la calidad de los cultivos (Cajamarca, 2012).

Posee características de insecticida y fungicida orgánico, mejora la retención del agua en los tejidos, reduce el daño oxidativo a las membranas de las plantas ocasionado por exceso de iones, posee un efecto amortiguador del pH en el suelo, incide positivamente en la disponibilidad de nutrientes, mitiga los efectos de la toxicidad de los diferentes elementos químicos, disminuye los efectos inhibitorios del Al sobre el alargamiento de la raíz, induce a la formación de aluminosilicatos de baja solubilidad en el apoplasto del ápice de la raíz, reduciendo la concentración de iones  $Al^{3+}$  en el medio, induce a la resistencia de diferentes cultivos, protege los cultivos contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos, resistencia al ataque de patógenos e insectos, y favorece la mayor lignificación de los tejidos (Álvarez, 2004).

Investigaciones recientes que atienden a la aplicación del Biol, apuntan resultados favorable en una amplia gama de cultivos con aplicaciones dirigidas al follaje, al suelo, a la semilla y/o a la raíz de la planta, en todos estos casos se ha considerado su aplicación durante todo el proceso de desarrollo de la planta.

El Biol anaerobio mejorado o enriquecido obtenido a partir de recipientes cerrados herméticos que hacen función de biodigestores discontinuos utilizando como insumos para su elaboración estiércol fresco de diferente ganado, leche o suero, melaza, ceniza, follajes de plantas leguminosas, follajes de plantas con características biosidas que lo convierte en un bioplaguicida que reduce ciertas plagas y enfermedades, agua limpia sin cloro, también se utilizan ciertos minerales como el sulfato de magnesio,

sulfato de cobre, clorato de calcio y sulfato de hierro. La aplicación al cultivo se debe realizarse como fertilizante foliar, directamente al follaje. Existen varias experiencias de la aplicación del Biol al suelo y sobre la semilla en el momento de la siembra (Mosquera, 2010; Mamani, Chávez y Ortuño, 2012).

Estos efluentes de la digestión anaerobia contienen biomasa microbiana, materia orgánica semidegradada y compuestos inorgánicos, que se pueden utilizar como acondicionadores del suelo en tierras de cultivo (Owamaha *et al.*, 2014). La composición de la mayoría de los efluentes es, en promedio; 8,5 % de materia orgánica; 2,6 % de nitrógeno; 1,5 % de fósforo; 1,0 % de potasio y un pH de 7,5 (Hong *et al.*, 2012).

Suelen contener microorganismos como *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Samonella*, *Penicillium*, *Shigella*, *Bacteriodes*, *Aspergillus* y *Bacillus* que potencian sus propiedades agronómicas, *Klebsiella* y *Clostridium* spp., son liberadores y fijadores de nitrógeno, mientras *Bacillus* y *Pseudomonas* spp., son solubilizadores de fosfato (Alfa *et al.*, 2014). Estos microorganismos aceleran los procesos microbianos en el suelo y aumentan la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas (Johansen *et al.*, 2013). Otros autores (Grigatti *et al.*, 2011; Albuquerque *et al.*, 2012 y Sosa *et al.*, 2014) han evaluado la calidad biofertilizante del efluente de la digestión de estiércol de vaca y gallinaza y provenientes del estiércol de conejillo de india.

### **1.3.2. Aplicación de microorganismos eficientes**

Los microorganismos nativos multipropósitos (ME) es un inoculo, constituido por la mezcla de varios microorganismos benéficos (levaduras, actinomicetos, bacterias ácidolácticas y fotosintéticas) que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido (Higa y Chen, 1998).

Los microorganismos son utilizados en la agricultura por varios propósitos; como importante componente de las enmiendas orgánicas y compost, como inoculante de leguminosas para fijación biológica de nitrógeno, como un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades de las plantas, para incrementar la calidad y productividad de los cultivos y para reducir labores. Una importante consideración de la aplicación de microorganismos benéficos es el incremento de sus efectos sinergistas (Higa y Parr, 1994).

La baja eficiencia de producción agrícola está estrechamente relacionada con la pobre coordinación en la conversión de energía la que, en cambio, está influenciada por factores fisiológicos de los cultivos, el medio ambiente y otros factores biológicos incluyendo los microorganismos del suelo. La microflora del suelo y la rizosfera pueden acelerar el crecimiento de las plantas e incrementar su resistencia a enfermedades e insectos dañinos por la producción de sustancias bioactivas. Esos microorganismos mantienen el medio de crecimiento de las plantas y pueden tener efectos secundarios en la calidad de los cultivos. Los resultados son posibles dependiendo de la predominancia y actividades de cada uno de los microorganismos (Higa, 2009).

Si cultivos de microorganismos benéficos son efectivos después de su inoculación en el suelo, es importante que su población inicial este en un nivel de umbral crítico. Esto ayuda a asegurarse que la cantidad de sustancias bioactivas por ellos sea suficiente para alcanzar los posibles efectos deseados en la producción de cultivos y/o en su protección. Actualmente, no hay pruebas químicas que puedan predecir la posibilidad de que un microorganismo particular, en la inoculación al suelo, alcance los resultados deseados. La más confiable aproximación es inocular el microorganismo benéfico en el suelo como parte del cultivo mixto y con una suficientemente alta densidad del inoculo para maximizar la probabilidad de su adaptación al medio ambiente y a las condiciones ecológicas (Higa y Chen, 1998).

Las aplicaciones foliares se deben realizar preparando una solución de cinco litros de microorganismos eficientes en 100 L de agua y aplicar por aspersion a una hectárea, en cultivos intensivos puede ser necesaria una mayor cantidad de agua (Freitag, 2003). Según Gil *et al.*, 2005; la utilización de los microorganismos eficientes en el mantenimiento de los cultivos, tiene como objetivo establecer los microorganismos en el área de la rizosfera favoreciendo la solubilidad de los nutrientes, producción de sustancias bioactivas, competencia con patógenos del suelo, promover el desarrollo de las plantas y competir con patógenos de las hojas generando un microambiente favorable para el desarrollo vigoroso de plantas.

## **CAPÍTULO 2. Metodología para la aplicación del digestato y de microorganismos eficientes en la producción de frijol común**

El apartado siguiente describe las particularidades del experimento para la aplicación del digestato, los microorganismos eficientes y su mezcla en el cultivo de frijol común, variedad conocida como “Masa de Puerco”. Se parte de las características del área destinada al cultivo y de las condiciones meteorológicas imperantes en el período de investigación para definir el diseño experimental. Se describen cada una de las variables a evaluar de acuerdo con la metodología propuesta y se precisa la forma de procesamiento de los resultados.

### **2.1. Descripción del sitio del experimento**

La Finca “Las Cruces” se encuentra enclavada en el Consejo Popular Paradero de Camarones, localidad que pertenece al municipio de Cruces, provincia Cienfuegos, está situada a 5 km de la cabecera municipal. Limita al Norte con el municipio de Lajas, al Sur y al Este con el municipio de Cruces y al Oeste con Espartaco perteneciente al municipio Palmira.

Dicha entidad posee una forma de tenencia de la tierra no estatal y presenta un contrato legal con la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) “Toribio Lima”, la cual proporciona fertilizantes, plaguicidas y fungicidas, entre otros insumos. Tiene una extensión de uno coma dos caballerías de tierras. El agua para riego proviene del manto freático y su área de siembra alterna con producciones de frijol y maíz.

La instalación cuenta con los recursos materiales necesarios para cumplir con las actividades características de un centro agrícola. A su vez cuenta con una pequeña producción de cerdos para el consumo de las familias que habitan el lugar y utilizan un biodigestor de cúpula fija con capacidad de 5 m<sup>3</sup> para el tratamiento de los residuales y la cocción de alimentos.

El comportamiento de las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Condiciones meteorológicas en la finca**

Parámetros	Valor, $\bar{x}$
Temperatura (°C)	26,03 °C

Precipitación (mm)	72 mm
Humedad Relativa (%)	77,11 %

Fuente: Estación Meteorológica de Cienfuegos, 2017.

### **Paisaje General**

- Forma del terreno circundante: casi llano.
- Vegetación natural: palmas, ceibas.
- Cultivos asociados: frijol, maíz.
- Agricultura tradicional: caña, frijol, maíz.
- Estado físico de los cultivos: bueno.

### **Situación Local**

- Pendiente: máxima (2,0 %), mínima (1,1 %), predominante (2,0 %).
- Exposición de la pendiente: de norte a sur.
- Micro relieve: llano. Altitud en (m): 80 msnm.
- Limitantes superficiales: ninguna.



Figura 2. Vistas de la Finca "Las Cruces"

### **2.2. Diseño experimental y manejo agronómico**

Se utiliza un diseño de bloques al azar que implicó 10 tratamientos con tres réplicas, de ellos uno testigo sin aplicación para un área útil de 4 m<sup>2</sup> y un total de 210 m<sup>2</sup> utilizados

en el experimento (Fig. 3). Las parcelas están constituidas por 2 surcos de 2 m de longitud, separados a 0,5 m entre hileras (4 hileras de plantas).

El material genético consistió en la variedad conocida como “Masa de Puerco”, autóctona del consejo popular de Potrerillo, situada por la Empresa Productora y Comercializadora de Semilla en el Sistema Informal de Semillas, la cual es producida e intercambiado entre pequeños productores. Fue seleccionado de la cosecha anterior con buena forma, color y uniformidad de los granos sin efectos de daños por enfermedades. Se comprobó su calidad mediante la prueba de germinación en recipiente perforado con arena.

Las aplicaciones del abonado foliar fueron realizadas semanalmente, el digestato anaerobio (DA) utilizado provino del biodigestor instalado en la finca y estabilizado durante siete días antes de su aplicación en mochila de aspersión Jacto de 16 L con 8, 12 y 16 %. La cantidad señalada responde a las investigaciones realizadas por Barrios y Siura (2001), que experimentaron los rangos más beneficiosos para alcanzar mejores rendimientos frente al testigo y evitar menor índices de infestación por nematodos, de acuerdo con estos autores este debe ser entre 10 y 20 %.

Para contrastar los resultados, el digestato fue probado frente a un producto industrializado de Microorganismos Eficientes (*Lote ME-50*) adquirido de una unidad comercializadora de la empresa Labiofam en iguales porcentajes de aplicación y mediante la formulación de mezclas (1:1) de DA+ME (8 %), DA+ME (12 %) y DA+ME (16 %).

<b>R<sub>1</sub> T0</b> H <sub>2</sub> O	<b>R<sub>1</sub> T1</b> DA 8 %	<b>R<sub>1</sub> T2</b> DA 12 %	<b>R<sub>1</sub> T3</b> DA 16 %	<b>R<sub>1</sub> T4</b> ME 8 %	<b>R<sub>1</sub> T5</b> ME 12 %	<b>R<sub>1</sub> T6</b> ME 16 %	<b>R<sub>1</sub> T7</b> ME+DA 8 %	<b>R<sub>1</sub> T8</b> ME+DA 12 %	<b>R<sub>1</sub> T9</b> ME+DA 16 %
<b>R<sub>2</sub> T0</b> H <sub>2</sub> O	<b>R<sub>2</sub> T1</b> DA 8 %	<b>R<sub>2</sub> T2</b> DA 12 %	<b>R<sub>2</sub> T3</b> DA 16 %	<b>R<sub>2</sub> T4</b> ME 8 %	<b>R<sub>2</sub> T5</b> ME 12 %	<b>R<sub>2</sub> T6</b> ME 16 %	<b>R<sub>2</sub> T7</b> ME+DA 8 %	<b>R<sub>2</sub> T8</b> ME+DA 12 %	<b>R<sub>2</sub> T9</b> ME+DA 16 %
<b>R<sub>3</sub> T0</b> H <sub>2</sub> O	<b>R<sub>3</sub> T1</b> DA 8 %	<b>R<sub>3</sub> T2</b> DA 12 %	<b>R<sub>3</sub> T3</b> DA 16 %	<b>R<sub>3</sub> T4</b> ME 8 %	<b>R<sub>3</sub> T5</b> ME 12 %	<b>R<sub>3</sub> T6</b> ME 16 %	<b>R<sub>3</sub> T7</b> ME+DA 8 %	<b>R<sub>3</sub> T8</b> ME+DA 12 %	<b>R<sub>3</sub> T9</b> ME+DA 16 %

Figura 3. Diseño del esquema experimental

## **Preparación de suelo**

Las labores de preparación de suelo se realizaron según las normas vigentes para el cultivo, realizándose el laboreo mínimo con dos pases de picadora y luego el surque con bueyes para proceder a la siembra de forma manual.

## **Siembra**

La siembra se realizó de forma manual el 9 de enero de 2017, época tardía según Quintero (2000), sobre suelo aluvial de drenaje moderado, aproximadamente a tres granos por golpe (semillas por agujero) con una profundidad de tres a cuatro centímetros y a la distancia de veinte centímetros.

## **Fertilización**

No se realizó fertilización química, solo fue considerada la aplicación de los bioproductos.

## **Manejo de malezas**

Se eliminaron las plantas indeseables manualmente, la primera a los 25 días después de la siembra y la segunda a los 15 días después de realizada la primera.

## **Manejo de plagas insectiles y enfermedades**

Durante en el cultivo se realizó una aplicación del producto comercial Titán antes de la floración.

## **2.3. Mediciones experimentales**

Las mediciones realizadas atendieron a la obtención de las características del abono foliar, el agua de riego, el suelo y cada una de las variables agronómicas que se declaran para evaluar el desarrollo productivo en el cultivo de frijol.

La diversidad de factores que influyen en las características del digestato anaerobio de estiércol porcino conllevó a la necesidad de determinar las regularidades de su proceso de obtención. Para ello se precisan algunas de sus particularidades en la tabla tres, de acuerdo con el régimen de funcionamiento semicontinuo del biodigestor en el tratamiento de los residuales generados al momento del estudio por 30 cerdos.

**Tabla 3. Características del proceso de digestión anaerobia**

<b>Modelo</b>	<b>Cúpula fija</b>
Capacidad	5 m <sup>3</sup>
Tiempo promedio de lavado de los corrales	20 min
Flujo de digestato a la salida del biodigestor	25 L/min
Digestato total producido	375 L

Tiempo de drenaje del digestato	15 min
Flujo de agua para el lavado de los corrales	80 L/min
Agua total utilizada para el lavado	1 600 L
Frecuencia de lavado de los corrales	2 - 3 d
Horas de consumo de biogás	9 h/d
Numero de quemadores de biogás	4

Fuente: Elaborado por el autor.

### I. Mediciones experimentales para la caracterización del suelo y los abonos foliares orgánicos

De acuerdo con la Delegación Provincial de la Agricultura (DPA) el suelo utilizado fue Pardo con Carbonatos, no obstante, en este estudio se realizó una caracterización fisicoquímica. Las alternativas empleadas en porciento de digestato, microorganismos eficientes y su mezcla, también fueron caracterizadas desde el punto de vista fisicoquímico.

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Biogás e Ingeniería Ambiental de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”(UNISS), donde se determinaron según los Métodos Estándares (APHA, 2012):

- Materia Seca y Materia Orgánica en forma de Sólidos Totales (ST), %; Sólidos Volátiles (SV), % y Cenizas, %.
- Sólidos Totales Disueltos (STD), mg/L.
- Potencial de hidrogeniones (pH), u.
- Conductividad eléctrica (C.E),  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Se determinó por fotometría de llama el contenido de iones:

- Potasio ( $\text{K}^+$ ), mg/100mL.
- Sodio ( $\text{Na}^+$ ), mg/100mL.

Se cuantificó por complejometría el contenido de iones:

- Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), mg/L.
- Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), mg/L.

Se determinó por colorimetría el contenido de iones:

- Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), mg/L.
- Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), g/kg.

## II. Mediciones experimentales para la caracterización del agua de riego

El análisis de la calidad del agua de riego fue realizado en la unidad provincial de Recursos Hidráulicos de acuerdo los Métodos Estándares (APHA, 2012). Fueron determinados en miliequivalente por litro ( $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ) los iones:

- Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )
- Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )
- Potasio ( $\text{K}^+$ )
- Sodio ( $\text{Na}^+$ )
- Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )
- Carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )
- Hidrógenocarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )

También fue determinada la conductividad eléctrica (C.E), expresada en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y para la interpretación de los resultados se siguió la metodología internacionalmente aceptada a partir del uso de normas combinadas:

### • **Conductividad eléctrica**

La C.E mide la concentración de sales en el agua de riego, dando con este contenido su calidad. Para caracterizar la conductividad del agua de riego se tuvo en cuenta:

C.E a 25 °C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

0 – 1000 Excelente

1000 – 3000 Buena a marginal

> 3000 Inaceptable

### • **Índice S.A.R. (relación absorción sodio)**

Representa el riesgo de sodificación del complejo de cambio (degradación de la estructura del suelo). El índice S.A.R. hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ion sodio y los iones calcio y magnesio, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$\text{S.A.R} = \text{Na}^+ / (\sqrt{((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2)})$$

Los cationes son expresados en  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ , si al realizar el análisis se encuentran valores de S.A.R superiores a 10, se puede decir que el agua de riego es alcalinizante y el riesgo será más alto mientras mayor sea este valor.

- **Índice C.S.R o Índice de Eaton (Carbonato de Sodio Residual)**

Indica la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes calcio y magnesio con los aniones carbonato e hidrogenocarbonato. Se calcula con los iones expresados en meq·L<sup>-1</sup> mediante la siguiente fórmula:

$$\text{C.S.R} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Según el índice C.S.R. (meq·L<sup>-1</sup>), las aguas se clasifican como:

< 1,25 Recomendables

1,25 – 2,50 Poco recomendables

> 2,50 No recomendables

- **Relación de calcio o Índice de Kelly (I.K)**

Se utiliza junto con el C.S.R para determinar el riesgo de alcalinización expresado en por ciento. Establece que aquellas aguas cuyo valor es superior a un 35 % son buenas para su utilización en el riego.

Se define mediante la siguiente ecuación:

$$\text{I.K} = (\text{Ca}) / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}) \times 100$$

- **Criterio de fitotoxicidad**

Para evaluar el riesgo de inducir toxicidad de un agua de riego, se seguirá la clasificación de la FAO en cuanto a sodio y cloruro.

**Tabla 4. Interpretación de la fitotoxicidad**

Ion	Inexistente	Problema creciente	Problema grave
Na <sup>+</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	< 3	3 – 9	> 9
Cl <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	< 4	4 – 10	> 10

Fuente: Ayers y Westcot, 1976.

- **Dureza del agua**

Este índice se refiere al contenido de calcio en el agua (mg/L).

$$\text{Dureza} = ([\text{Ca}^{2+}] \times 2,5 + [\text{Mg}^{2+}] \times 4,2) / 10$$

Para convertir miliequivalentes (meq) en miligramos (mg) se utiliza la fórmula:

$$\frac{\text{meq} \times \text{peso atómico}}{\text{Valencia}} = \text{mg}$$

Según su dureza, un agua se puede clasificar en:

**Tabla 5. Clasificación de los tipos de agua**

Tipo de agua	Grados Hidrométricos Franceses ( °F)
Muy dulce	< 7
Dulce	7 – 14
Medianamente dulce	14 – 22
Medianamente dura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy dura	> 54

Fuente: Ros, 2001.

- **Norma Riverside**

Establecen una relación entre la C.E ( $\mu\text{mhos/cm} = \mu\text{S/cm}$ ) y el índice S.A.R. Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S afectadas de un subíndice numérico (Anexo 1).

- **Norma Wilcox**

Considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes expresados en  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$  y la conductividad eléctrica. Se consulta el gráfico del anexo dos y se obtiene la clasificación del agua.

$$\text{Porcentaje de Na}^+ = \left( \frac{[\text{Na}^+]}{(\Sigma\text{cationes})} \right) \times 100$$

### III. Mediciones experimentales para el período de abonado foliar

Las variables agronómicas se evaluarán en función de las medias con lo cual se consideran las réplicas por cada tratamiento, estas son las típicas para el experimento que se propone el autor de la investigación. En general, se evalúan 10 plantas en los surcos intermedios de las réplicas para valorar un total de 30 plantas por tratamiento.

#### 1. Días a floración

Número de días transcurridos desde la siembra hasta que las poblaciones en estudio presentaron al menos una flor abierta en el 50 % de las plantas.

#### 2. Días a madurez fisiológica

Se calcula como días después de la siembra que coinciden con la etapa de desarrollo R9, es decir el momento en que al menos una vaina de las plantas muestreadas presenta un cambio en su coloración y al menos el 50 % de estas plantas presentan dicho estado.

#### 3. Número de hojas por plantas

Se contaron todas las hojas formadas a los 30 d después de la germinación.

#### **4. Plantas cosechadas**

Se determina basándose en el número de plantas cosechadas en cada réplica.

#### **5. Vainas por planta**

Se determina realizando conteos de vainas por planta en 10 plantas elegidas al azar de cada réplica y se utiliza el valor promedio.

#### **6. Granos por vaina**

Se determina el número de granos por vaina en 10 vainas elegidas al azar de cada réplica y se utiliza el valor promedio.

#### **7. Peso de 100 granos**

Para determinar esta variable se ajusta el peso al 14 % del contenido de humedad en la semilla, se pesan 100 granos elegidos al azar de cada réplica y los resultados se expresan en gramos (g).

#### **8. Rendimiento de grano**

Se determinó a partir del número de vainas/planta y granos/vaina por metro cuadrado multiplicado por el peso de 100 granos y expresado en  $t \cdot ha^{-1}$ .

Se realizaron pruebas ANOVA (Analysis of Variance) simple para la comparación de las medias de las variables evaluadas con test Tukey ( $P < 0,05$ ) y una prueba de regresión simple para inferir la variable que más influye sobre el rendimiento, todo ello con el paquete estadístico StatgraphicsCenturionv.XVI.

Se realizó una sencilla valoración económica a partir del análisis de costo de producción para el cultivo del frijol y los insumos requeridos en una hectárea. El valor de la producción se calculó teniendo en cuenta el valor de venta según los precios establecidos por las entidades que comercializan estos productos.

Los aspectos evaluados fueron:

- Total de gasto (insumos).
- Total de ingresos a partir de la producción.
- Ganancia =  $VP - CP$
- Costo por peso =  $CP/VP$

Donde VP: Valor de la producción; CP: Costo del total de la producción.

### **CAPÍTULO 3. Resultados de la aplicación del digestato y de microorganismos eficientes en la producción de frijol común**

En el siguiente capítulo se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo y del abono foliar orgánico, así como del agua de riego. Con el análisis de los parámetros de control, así como las variables experimentales evaluadas fue posible arribar a los resultados finales de la investigación.

#### **3.1 Resultados de la caracterización del suelo, agua de riego y el abono foliar orgánico**

Según la DPA, el suelo es gris rojizo, topografía casi llana y medianamente profundo. De acuerdo con la Segunda Clasificación Genética de los Suelos este se clasifica como se informa mediante las siguientes categorías:

Agrupamiento: aluvial.

Tipo: aluvial.

Sub tipo: diferenciado.

Género: materiales transportados no carbonatados, saturados.

Especie: moderadamente profundo medio humificado.

Variedad: arcilla.

La profundidad efectiva del suelo es considerada adecuada para el cultivo de frijol con un drenaje superficial moderado. Hasta la fecha ha sido considerado un suelo productivo y de fertilidad moderada.

**Tabla 6. Resultados de la composición fisicoquímica del suelo utilizado**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor, <math>\bar{x}</math></b>	<b>±DE</b>
Sólidos totales (%)	91,91	4,99
Sólidos volátiles (%)	6,14	0,63
Cenizas (%)	85,78	4,69
Sólidos totales disueltos (mg/L)	0,64	0,03
pH (u)	7,63	0,19
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0,23	0,01
Na <sup>+</sup> (mg/100ml)	0,43	0,06
K <sup>+</sup> (mg/100ml)	0,57	0,12
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	8,89	2,65

Fuente: Elaborado por el autor. Parámetros ± Desviación Estándar de tres repeticiones.

Para el cultivo del frijol el pH del suelo debe encontrarse entre cinco y siete coma cinco unidades, no obstante, el valor promedio de tres repeticiones supera este rango apropiado, por lo que el efecto amortiguador del digestato pudiera influir positivamente.

Por su parte, la acidez característica de los ME y los consorcios microbianos que lo constituyen, principalmente las bacterias ácido lácteas, pudieran influir en la disminución de la alcalinidad del suelo con tendencia hacia el óptimo.

Si se desprecian algunos óxidos y compuestos que pueden volatilizar a 105 °C, a partir de los ensayos realizados es posible inferir que el contenido de Materia Orgánica (MO) puede ser superior al seis por ciento. Esta resulta fuente principal de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores. De acuerdo con Marín (1980), los niveles de MO inferiores a cinco por ciento se reconocen como bajos y el contenido del por ciento de Nitrógeno Total (NT), es decir MO dividido por 20, es de pobre nivel de disponibilidad cuando estos se encuentran en el rango de cero coma diez a cero coma quince por ciento; por tanto, de acuerdo con estos valores los resultados del suelo estudiado pueden ser adecuados y resultar interesante el uso de bioproductos ricos en minerales que permitirán equilibrar la extracción de nutrientes que realiza el cultivo.

De acuerdo con Ayers y Westcot (1987), la interpretación de los resultados para el agua de riego permite plantear que la C.E no establece riesgo de salinización con resultado de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que corresponde a una **calidad de agua excelente**.

Las concentraciones de iones presentes en el agua de riego proveniente del río Caunao se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7. Resultados analíticos del agua de riego**

Cationes	meq/L	Aniones	meq/L
Ca <sup>2+</sup>	3,36	Cl <sup>-</sup>	0,70
Mg <sup>2+</sup>	1,34	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-
K <sup>+</sup>	0,09	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,08
Na <sup>+</sup>	0,96	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,80

Fuente: Elaborado por el autor.

La presencia de sodio en las aguas de riego deja latente la probabilidad de que por medio del intercambio catiónico el sodio pase a ocupar los sitios en el complejo absorbente del suelo, que antes eran ocupados por otros cationes, por ejemplo Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, pudiendo ocasionar un desequilibrio eléctrico de la miscela coloidal (Jarsun *et al.*, 2008; Azpilcueta *et al.*, 2017).

Como se ha determinado un agua de S.A.R =  $\text{Na}^+ / (\sqrt{((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2)}) = 0,96 / (\sqrt{((3,36 + 1,34) / 2)}) = 0,62$  meq/L se puede plantear que el agua de riego es de **escaso poder de sodificación**. Es decir, no disminuye la permeabilidad y no favorece

la formación de costras que puedan modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo con el deterioro lógico del cultivo.

En el agua de riego donde la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  es mayor que la del calcio y magnesio, existe la tendencia de estos cationes a precipitar en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se va concentrando, permaneciendo en disolución el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  debido a su alta solubilidad. Esta reacción no se completa totalmente en circunstancias normales pero a medida que ella ocurre, la concentración total y relativa del sodio tiende a crecer, aumentando las posibilidades de intercambio con el complejo absorbente del suelo, pudiendo producir la defloculación del mismo. De acuerdo con los resultados del C.S.R =  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = (0,08 + 5,80) - (3,36 + 1,34) = 1,18$  meq/L se puede considerar dicha agua como **recomendable**.

Para el Índice de Kelly se establece que aquellas aguas cuyo valor es superior a un 35 % son buenas para su utilización en el riego, por tanto, como  $\text{I.K} = (\text{Ca}^{2+}) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+) \times 100 = (3,36) / (3,36 + 1,34 + 0,96) \times 100 = 59,36$  % se tiene que **I.K > 35 % y clasifica como Buena**.

De los elementos tóxicos para las plantas que fueron analizados en el agua de riego:  $\text{Na}^+$  (0,96 meq/L) y  $\text{Cl}^-$  (0,70 meq/L), estos se encuentran dentro del rango de fitotoxicidad considerado como **inexistente**.

La dureza del agua referida al contenido de calcio en base a mg/L resultó Dureza =  $([\text{Ca}^{2+}] \times 2,5 + [\text{Mg}^{2+}] \times 4,2) / 10 = (67,2 \times 2,5) + (16,28 \times 4,2) = 23,63$  °F; con este análisis de agua tenemos una dureza total de 23,63 grados hidrométricos franceses, por lo que puede considerarse dicha agua como **medianamente dura**.

El análisis en base a las Normas Combinadas arrojó los siguientes resultados:

Para la Norma Riverside atendiendo al S.A.R = 0,62 meq/L en función de la C.E = 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (según gráfico Anexo 1), se tiene que **el agua se clasifica como C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>**, es decir, presenta **peligro de salinización medio** (puede utilizarse si existe un moderado lavado, lo cual se cumple en las condiciones del experimento) y **peligro de alcalinización bajo** (puede usarse sin que sean de esperar serios perjuicios en el desarrollo vegetal).

Para la Norma Wilcox atendiendo al Porcentaje de  $\text{Na}^+ = ([\text{Na}^+] / (\text{Cationes})) \times 100 = (0,96 / (3,36 + 1,34 + 0,09 + 0,96)) \times 100 = 16,69$  % en función de la C.E = 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$

(según gráfico Anexo 2), se obtiene una clasificación del agua como **excelente a buena**.

La falta de resultados (concentraciones de iones sulfato y boro) imposibilitó determinar el Coeficiente Alcalimétrico, la fitotoxicidad en base a los iones boro, así como realizar el análisis para la norma combinada de Greene. No obstante, reunidos todos los datos a partir de los distintos índices y normas que se plantean en la metodología de análisis de los resultados, se llega a la conclusión de que esta agua se clasifica como **BUENA** para ser usada en el riego de los cultivos.

Las propiedades químicas del digestato estudiado aparecen en la tabla ocho y se puede inferir que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en las normas, que regulan la utilización de lodos y digestatos con fines agrícolas, por lo que puede considerarse que este es similar a los biosólidos clase A, que significa apto para ser utilizado en la agricultura (Garfíet *al.*, 2011).

**Tabla 8. Resultados de la composición química del digestato y su mezcla con microorganismos eficientes**

	pH (u)	C.E ( $\mu$ S/cm)	NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	K <sup>+</sup> (mg/100mL)	Na <sup>+</sup> (mg/100mL)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)
D 8%	7,53	4,70	0,209	0,20	1,10	10,20	165,42	89,01
D 12%	7,47	4,30	0,082	0,30	1,10	15,60	263,45	33,28
D 16%	7,39	4,40	0,354	0,40	1,20	25,40	355,35	14,68
ME 8%	4,14	4,46	0,054	0,90	1,60	6,10	150,11	72,31
ME 12%	3,86	5,14	0,082	1,40	1,90	8,20	192,99	50,02
ME 16%	3,74	5,21	0,083	1,60	2,10	9,00	211,37	44,44
D+ME 8%	5,39	5,27	0,139	0,60	1,60	8,80	165,42	76,02
D+ME 12%	4,99	5,33	0,279	1,00	1,70	13,70	242,01	38,86
D+ME 16%	4,62	5,38	0,056	1,20	1,90	16,30	300,21	46,26

Fuente: Elaborado por el autor.

En general, las características del digestato son similares a las informada por otros autores que han examinado digestato del tratamiento anaerobio de estiércol porcino

como bioabono para fines agrícolas (Garfíet *al.*, 2011). Al mezclar el digestato con ME aumentan los aportes fósforo, aunque disminuye el pH debido a que contienen en su mayoría bacterias ácido lácticas (de la Rosa, 2016).

### 3.2 Resultados del experimento de abonado foliar

Seguidamente se presenta la tabulación del procesamiento estadístico para cada una de las variables consideradas en este estudio (Tablas 9 a 24), posteriormente se realiza el resumen (Tabla 25) y comentario pertinente, con el contraste entre los resultados de varios autores que han tratado la temática objeto de estudio.

Días a la floración:

**Tabla 9. Medias con intervalos de confianza del 95,0%**

	Casos	Media	Error Est.		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	34,3333	0,278887	33,922	34,7447
T1	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
T2	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
T3	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
T4	3	33,0	0,278887	32,5886	33,4114
T5	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
T6	3	33,0	0,278887	32,5886	33,4114
T7	3	33,0	0,278887	32,5886	33,4114
T8	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
T9	3	33,3333	0,278887	32,922	33,7447
Total	30	33,3333			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 10. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,05)**

	Media	Grupos Homogéneos
T6	33,0	x
T7	33,0	x
T4	33,0	x
T2	33,3333	x
T5	33,3333	x
T9	33,3333	x
T8	33,3333	x
T3	33,3333	x
T1	33,3333	x
T0	34,3333	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Días a la madurez fisiológica:

**Tabla 11. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

Error Est.	
------------	--

	Casos	Media	(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	61,3333	0,298142	60,4253	62,2414
T1	3	60,0	0,298142	59,092	60,908
T2	3	60,0	0,298142	59,092	60,908
T3	3	59,3333	0,298142	58,4253	60,2414
T4	3	59,6667	0,298142	58,7586	60,5747
T5	3	60,0	0,298142	59,092	60,908
T6	3	60,0	0,298142	59,092	60,908
T7	3	59,6667	0,298142	58,7586	60,5747
T8	3	60,0	0,298142	59,092	60,908
T9	3	59,3333	0,298142	58,4253	60,2414
Total	30	59,9333			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 12. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

	Media	Grupos Homogéneos
T3	59,3333	x
T9	59,3333	x
T7	59,6667	xx
T4	59,6667	xx
T5	60,0	xx
T6	60,0	xx
T2	60,0	xx
T8	60,0	xx
T1	60,0	xx
T0	61,3333	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Hojas por planta:

**Tabla 13. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	30	15,7333	0,553792	14,2947	17,1719
T1	30	19,3667	0,553792	17,9281	20,8053
T2	30	21,5	0,553792	20,0614	22,9386
T3	30	22,2333	0,553792	20,7947	23,6719
T4	30	20,4333	0,553792	18,9947	21,8719
T5	30	22,2	0,553792	20,7614	23,6386
T6	30	23,8	0,553792	22,3614	25,2386
T7	30	21,8	0,553792	20,3614	23,2386
T8	30	23,5	0,553792	22,0614	24,9386
T9	30	24,6	0,553792	23,1614	26,0386
Total	300	21,5167			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 14. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

Media	Grupos
-------	--------

<i>Homogéneos</i>		
T0	15,7333	x
T1	19,3667	x
T4	20,4333	x
T2	21,5	xx
T7	21,8	xxx
T5	22,2	xxx
T3	22,2333	xxx
T8	23,5	xx
T6	23,8	xx
T9	24,6	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Plantas cosechadas:

**Tabla 15. Medias con intervalos de confianza del 95,0%**

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>		
			<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
T0	3	124,333	2,38281	119,539	129,127
T1	3	123,0	2,38281	118,206	127,794
T2	3	122,667	2,38281	117,873	127,461
T3	3	123,0	2,38281	118,206	127,794
T4	3	121,333	2,38281	116,539	126,127
T5	3	121,667	2,38281	116,873	126,461
T6	3	123,0	2,38281	118,206	127,794
T7	3	120,333	2,38281	115,539	125,127
T8	3	121,667	2,38281	116,873	126,461
T9	3	121,667	2,38281	116,873	126,461
Total	30	122,267			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 16. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,05)**

	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T7	120,333	x
T4	121,333	x
T5	121,667	x
T9	121,667	x
T8	121,667	x
T2	122,667	x
T6	123,0	x
T3	123,0	x
T1	123,0	x
T0	124,333	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Vainas por planta:

**Tabla 17. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

	Casos	Media	Error Est.		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	30	6,63333	0,299936	6,08341	7,18325
T1	30	11,2667	0,299936	10,7167	11,8166
T2	30	12,6	0,299936	12,0501	13,1499
T3	30	14,9333	0,299936	14,3834	15,4833
T4	30	12,1333	0,299936	11,5834	12,6833
T5	30	13,6333	0,299936	13,0834	14,1833
T6	30	15,4	0,299936	14,8501	15,9499
T7	30	12,3	0,299936	11,7501	12,8499
T8	30	14,0333	0,299936	13,4834	14,5833
T9	30	15,7333	0,299936	15,1834	16,2833
Total	300	12,8667			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 18. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

	Media	Grupos Homogéneos
T0	6,63333	x
T1	11,2667	x
T4	12,1333	xx
T7	12,3	xx
T2	12,6	xxx
T5	13,6333	xxx
T8	14,0333	xxx
T3	14,9333	xxx
T6	15,4	xx
T9	15,7333	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Granos por vaina:

**Tabla 19. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

	Casos	Media	Error Est.		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	30	3,1	0,115021	2,80121	3,39879
T1	30	4,03333	0,115021	3,73454	4,33213
T2	30	4,46667	0,115021	4,16787	4,76546
T3	30	5,03333	0,115021	4,73454	5,33213
T4	30	4,16667	0,115021	3,86787	4,46546
T5	30	4,63333	0,115021	4,33454	4,93213
T6	30	5,16667	0,115021	4,86787	5,46546
T7	30	4,36667	0,115021	4,06787	4,66546
T8	30	4,76667	0,115021	4,46787	5,06546
T9	30	5,23333	0,115021	4,93454	5,53213
Total	300	4,49667			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 20. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T0	3,1	X
T1	4,03333	X
T4	4,16667	XX
T7	4,36667	XXX
T2	4,46667	XXXX
T5	4,63333	XXXX
T8	4,76667	XXXX
T3	5,03333	XXX
T6	5,16667	XX
T9	5,23333	X

Fuente: Elaborado por el autor.

Peso de 100 granos:

**Tabla 21. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
T0	3	36,6877	1,4271	32,3412	41,0342
T1	3	45,9737	1,4271	41,6272	50,3202
T2	3	50,2527	1,4271	45,9062	54,5992
T3	3	50,5973	1,4271	46,2508	54,9438
T4	3	40,5463	1,4271	36,1998	44,8928
T5	3	46,0823	1,4271	41,7358	50,4288
T6	3	49,774	1,4271	45,4275	54,1205
T7	3	38,189	1,4271	33,8425	42,5355
T8	3	42,2393	1,4271	37,8928	46,5858
T9	3	48,9797	1,4271	44,6332	53,3262
Total	30	44,9322			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 22. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T0	36,6877	X
T7	38,189	XX
T4	40,5463	XXX
T8	42,2393	XXXX
T1	45,9737	XXX
T5	46,0823	XXX
T9	48,9797	XX
T6	49,774	X
T2	50,2527	X
T3	50,5973	X

Fuente: Elaborado por el autor.

Rendimiento de grano:

**Tabla 23. Medias con intervalos de confianza del 99,0%**

	Casos	Media	Error Est.		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
T0	3	0,588333	0,0732863	0,365127	0,81154
T1	3	1,602	0,0732863	1,37879	1,82521
T2	3	2,164	0,0732863	1,94079	2,38721
T3	3	2,92133	0,0732863	2,69813	3,14454
T4	3	1,54867	0,0732863	1,32546	1,77187
T5	3	2,21233	0,0732863	1,98913	2,43554
T6	3	3,04567	0,0732863	2,82246	3,26887
T7	3	1,532	0,0732863	1,30879	1,75521
T8	3	2,07867	0,0732863	1,85546	2,30187
T9	3	3,07033	0,0732863	2,84713	3,29354
Total	30	2,07633			

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 24. Pruebas de Múltiples Rangos (Tukey: P<0,01)**

	Media	Grupos Homogéneos
T0	0,588333	x
T7	1,532	x
T4	1,54867	x
T1	1,602	x
T8	2,07867	x
T2	2,164	x
T5	2,21233	x
T3	2,92133	x
T6	3,04567	x
T9	3,07033	x

Fuente: Elaborado por el autor.

Los indicadores morfofisiológicos seleccionados para el análisis del crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol, permitieron discernir el efecto de los tratamientos evaluados con la aplicación de diferentes porcentajes de bioproductos.

**Tabla 25. Resumen de los parámetros morfológicos y productivos por tratamientos**

Parámetros	Fenología del cultivo, $\bar{x}$										ES $\pm$
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
Floración, DDS	34,33	33,33	33,33	33,33	33,0	33,33	33,0	33,0	33,33	33,33	0,27 NS
Madurez fisiológica, DDS	61,33 b	60,0 ab	60,0 ab	59,33 a	59,66 ab	60,0 ab	60,0 ab	59,66 ab	60,0 ab	59,33 a	0,29 **
Componentes del cultivo y su rendimiento, $\bar{x}$											
Hojas por plantas, u	15,73 a	19,36 b	21,5 bc	22,23 bcd	20,43 b	22,2 bcd	23,8 cd	21,8 bcd	23,5 cd	24,6 d	0,55 **
Plantas cosechadas, u	124,33	123,0	122,66	123,0	121,33	121,66	123,0	120,33	121,66	121,66	2,38 NS
Vainas por planta, u	6,63 a	11,26 b	12,6 bcd	14,93 efg	12,13 bc	13,63 cde	15,4 fg	12,3 bc	14,03 def	15,73 g	0,29 **
Granos por vaina, u	3,1 a	4,03 b	4,46 bcde	5,03 efg	4,16 bc	4,63 cdef	5,16 fg	4,36 bcd	4,76 defg	5,23 g	0,11 **
Peso de 100 granos, g	36,68 a	45,97 cd	50,25 ef	50,59 f	40,54 ab	46,08 cde	49,77 def	38,18 ab	42,23 bc	48,97 def	1,42 **
Rendimiento del grano, t·h <sup>-1</sup>	0,58 a	1,60 b	2,16 c	2,92 d	1,54 b	2,21 c	3,04 d	1,53 b	2,07 c	3,07 d	0,07 **

Fuente: Elaborado por el autor. Medias en las filas con letras diferentes difieren, para NS no significativo, \*P<0,05; \*\*P<0,01 (Tukey).

En este trabajo no se encontraron diferencias ( $P>0,05$ ) para la variable de días a la floración. Distinto a los resultados presentados por Cerrato (1992), que encontró 11 d de diferencia en cuanto a la variedad más precoz y la más tardía. En cuanto a la precocidad de la floración, Hernández y Barquero (2003), presentaron un rango de 6 d de separación. Estos autores también trabajaron con variedades de frijol rojo.

La madurez fisiológica puede considerarse como el cambio de color del follaje que pasa de verde a amarillo, iniciándose por los folíolos inferiores, cambio de color de la epidermis de las vainas y pérdida de humedad en el grano. De acuerdo con el INTA (2001), las variedades de frijol precoces a la madurez fisiológica van de los 55 a los 70 DDS, dentro de esta clasificación se encuentra la variedad utilizada. Los resultados experimentales demuestran que T3 y T9, son estadísticamente ( $P<0,01$ ) más precoces a la madurez que el tratamiento control, con diferencias muy poco marcadas entre los valores promedio de DDS, pero refleja que altas concentraciones del digestato y de su mezcla con ME pueden influir en el tiempo de la cosecha.

Tapia y Camacho (1988), afirman que las variedades de frijol alcanzan su madurez entre los 56 y los 79 DDS, para una diferencia de 23 d entre la primera y la última en alcanzar su madurez fisiológica. Resultados similares a los encontrados en la

investigación, fueron presentados en variedades de testa roja por Argüello (1992), Montalbán (1992), Martínez (1994), Hernández (1995), Barrera y Álvarez (1998), Leiva y López (1999) y Lara y Hernández (2002) (Citados por Avelares *et al.*, 2003 y Pineda *et al.*, 2004).

La utilización de biofertilizantes mejora la absorción en la nutrición de las plantas de frijol, estos resultados coinciden con los planteamientos realizados por Terrero (2007). A excepción del T4, a partir del tratamiento 3 se presentan homogeneidad en los resultados, los mejores resultados se alcanzaron con el mayor porcentaje de aplicación de bioproductos, con estos resultados concuerda el autor de la Rosa (2016).

El número de plantas cosechadas está directamente relacionado con la emergencia, el manejo agronómico, las condiciones ambientales existentes y la competencia entre los individuos, todos estos factores en conjunto hacen que el número de plantas cosechadas pueda variar con relación a la cantidad de semilla que se sembró. Esta variable no presentó diferencias ( $P > 0,05$ ) con la aplicación foliar de los bioproductos. Se obtuvo una alta densidad de plantas, entre 120 y 124 a partir de unos tres granos por golpe, lo que significa que existió un excelente porcentaje de germinación de acuerdo con la calidad de la semilla utilizada.

La mayor cantidad de vainas por plantas provienen de los tratamientos T3, T6 y T9, con valores promedio superiores para este último. Estos constituyen los porcentajes de aplicación más elevados con cada bioproducto.

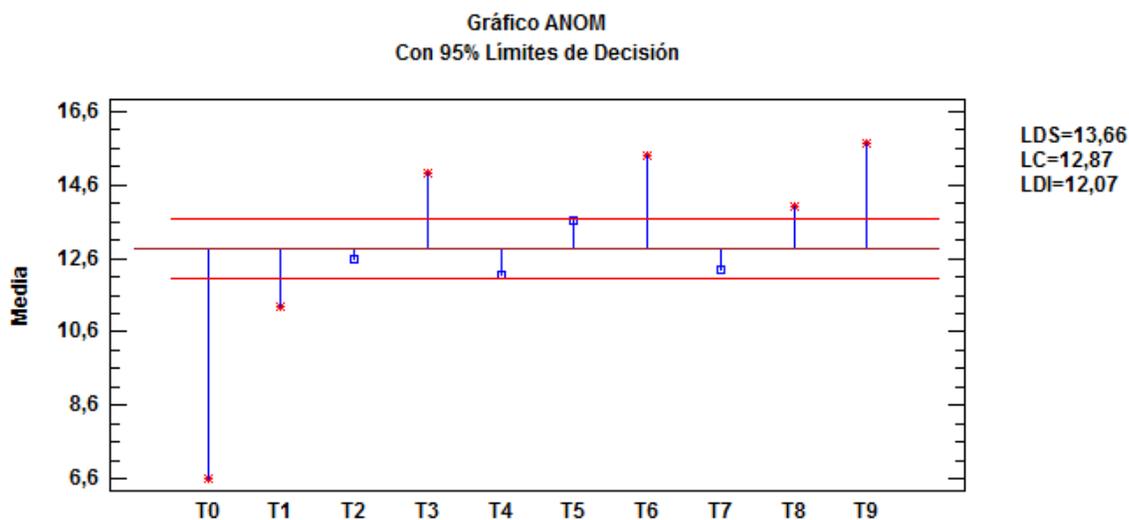


Figura 4. Gráfico para el análisis del valor medio de vainas por planta.

Por su parte Gallo (2013), obtuvo un incremento del número de vainas promedios por plantas al aplicar microorganismos eficientes en el cultivo del frijol e incrementó la media de este indicador en más de cinco con respecto al control. Resultados similares fueron obtenidos por Sueiro *et al.*, 2011, en la aplicación de *Rhizobium* con un promedio de 17,0 vainas por plantas. Guevara (2013), con la aplicación de *FitoMas-E* (60 mL en 16 L de agua) logró 11,28 vainas por plantas.

La mayor cantidad de granos por vaina se presenta en los tratamientos T3, T6 y T9, con variación como ha sido presentado en el análisis de la variable anterior. Este comportamiento también fue referido por Sánchez (2012) y Poey (2012), obtuvieron un incremento en el promedio de granos por vainas con respecto al control con la aplicación de microorganismos eficientes en época de siembra temprana del cultivar Bat-93. López (2014), ha presentado, con la aplicación de 1 L · ha<sup>-1</sup> de *FitoMas-E*, valores medios de 5,1 granos por vainas.

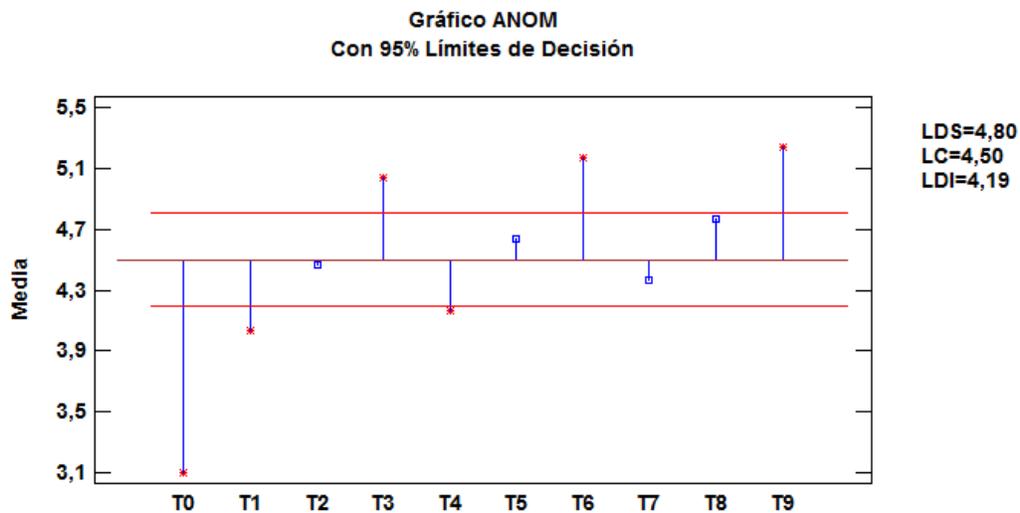


Figura 5. Gráfico para el análisis del valor medio de granos por vaina.

Según Hernández y Barquero (2003), el peso del grano varía entre 15 y 60 g por cada 100 granos pesados. Estos autores clasifican al frijol de acuerdo al peso de 100 semillas en 3 categorías: pequeña, mediana y grande. La semilla pequeña corresponde a un peso de 25 g o inferior, la semilla mediana a un peso entre 25 y 40 g y la semilla grande a un peso mayor de 40 g.

En el análisis realizado hasta el momento, las variables vainas por planta y granos por vaina se han comportado con una variación de tipo regular con resultados superiores

en T3, T6 y T9, en ese mismo orden, pero a partir del análisis del peso de las semillas se aprecia que estos valores presentan una ligera compensación.

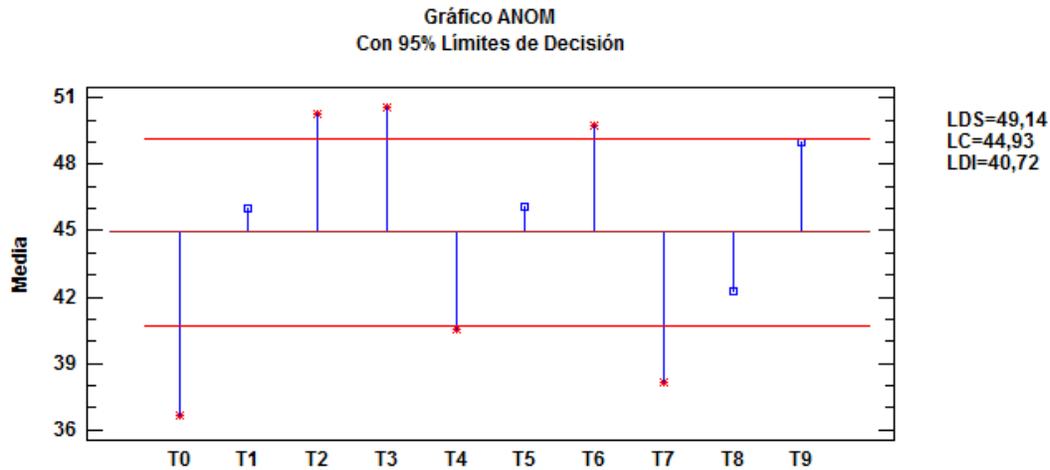


Figura 6. Gráfico para el análisis del valor medio del peso de 100 granos.

Estos resultados son superiores a los encontrados por Rosabalet *al.*, 2013; mediante la aplicación de una y dos aspersiones a las plantas con Biobras-16 a razón de 20 mg/ha, en el cual obtuvieron pesos promedio de 19,8 y 19,77 g respectivamente. Por otra parte Jiménez (2013), obtuvo 24,65 g mediante la aplicación de Rhizobium + Fosforina + 30 % (NPK + Urea). Esta diferencia tan marcada se debe principalmente al gran tamaño del grano de la variedad “Masa de Puerco”.

En cuanto a los rendimientos, se muestra a continuación que los tratamientos T3, T6 y T9 son significativamente superiores a la gran media.

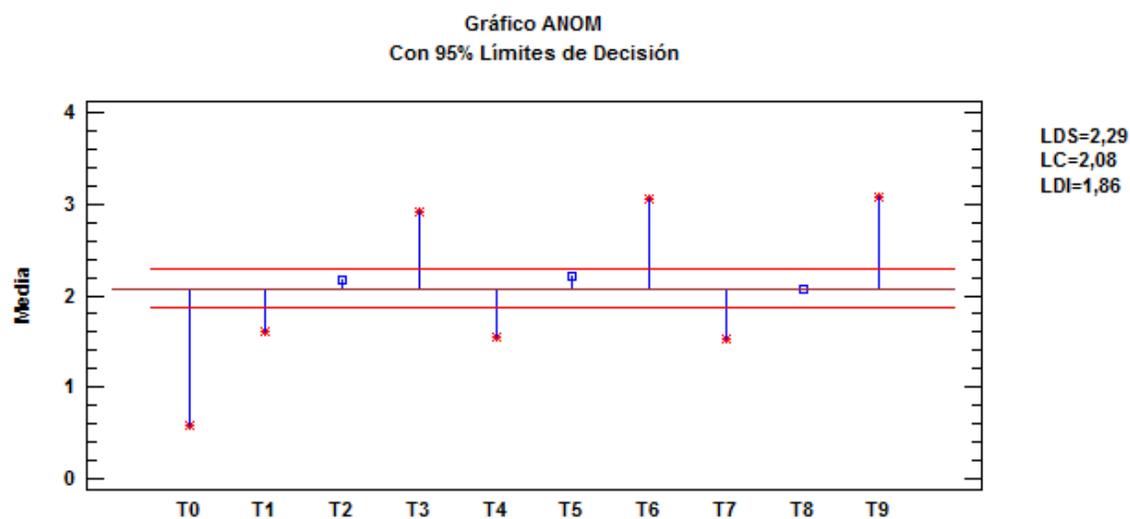


Figura 7. Gráfico para el análisis del valor medio del rendimiento.

El tratamiento que mejor se comportó fue el T9 con un rendimiento de  $3,07 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , este es superior a los obtenidos por Méndez *et al.*, 2011; quienes mediante la aplicación de  $0,5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$  de *Fitomas-E* obtuvieron  $1,54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Por otra parte Sueiro *et al.*, 2011; reportaron valores superiores al obtener  $3,77 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  con Urea 46 % de N, mediante aplicación foliar con dosis de  $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  a los 20 d de sembrado el cultivo con la variedad BAT-304. Con esta misma variedad, este autor mediante la aplicación foliar de *FitoMas-E*, en dosis de  $2,0 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$  a los 20 d de sembrado el cultivo reportó rendimientos de  $3,78 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Inferiores fueron los resultados de Leyva *et al.*, 2013, quienes mediante sistemas de Labranza Cero e inoculación de *Rhizobium* reportaron rendimientos de  $1,61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  con la variedad Velazco Largo.

En el estudio realizado no se presentaron diferencias estadísticas en cuanto a la cantidad de plantas, algunos autores relacionan la cantidad de plantas cosechadas con el rendimiento, pero no puede esperarse que únicamente la cantidad de plantas cosechadas determine el rendimiento de un cultivo, ya que existen otros componentes determinantes, tales como vainas por planta, granos por vaina, peso y tamaño de grano; estos componentes no pueden considerarse independientes unos de otros.

Además, mayor número de vainas por planta puede provocar reducción en el número de granos por vaina y/o peso de granos, lo que se conoce como compensación. Lo anterior significa que, aunque las vainas por planta son también un componente importante del rendimiento, no necesariamente la planta con mayor cantidad de vainas va a poseer el mejor rendimiento.

Atendiendo a que fueron evaluados diferentes bioproductos y que la densidad de población no presentó diferencias estadísticas al momento de la cosecha, se realizó un análisis de regresión simple ajustado a un modelo lineal (Anexo 3) entre el rendimiento del grano y las variables número de vainas por planta, de granos por vaina y peso de cien granos, para determinar cual ejerce mayor variación sobre la producción.

El alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que se presenta (Tabla 26), muestra que la dependencia del rendimiento es mayor con la variable granos por vaina, con una relación relativamente fuerte entre ellas, es decir, en el experimento el incremento en los rendimientos productivos está más influenciado por el incremento del número de granos por vainas.

**Tabla 26. Análisis del rendimiento (t · ha<sup>-1</sup>) vs. variables independientes**

Variable independiente	r	R <sup>2</sup> (%)	ES±
Vainas por planta	0,918219	84,3127	0,25
Granos por vaina	0,938436	88,0662	0,21
Peso de 100 granos	0,75139	56,4588	0,41

Fuente: Elaborado por el autor. R<sup>2</sup> coeficiente de determinación, r- coeficiente de correlación.

La evaluación económica de la producción de frijol por efecto de diferentes niveles de abono foliar orgánico a base de DA, ME y las mezclas, se registró mediante los resultados de las ganancias y la relación costo para ganar un peso de unidad monetaria (CUP). De los tratamientos estudiados el T9 es más rentable, para producir un peso necesitó 31 centavos (Tabla 27). En esta valoración, el precio fijado al frijol rojo “colorado” en el momento del estudio para el acopio por la cooperativa estatal es de 10 CUP/lb.

**Tabla 27. Comportamiento de los índices económicos en los tratamientos evaluados**

Tratamientos	Ganancias (pesos · ha <sup>-1</sup> )	Costo por peso (centavos · peso <sup>-1</sup> )
T0	- 8 400	1,64
T1	13 900	0,60
T2	26 270	0,48
T3	42 900	0,33
T4	12 586	0,63
T5	27 114	0,44
T6	45 372	0,32
T7	12 288	0,63
T8	24 282	0,46
T9	46 056	0,31

Fuente: Elaborado por el autor. CUP- peso cubano equivalente a 0,88 USD.

Estos resultados corroboran lo obtenido por Sánchez (2012), Poey (2012), Valdivia (2013), Hernández (2013) y Alonso (2013) quienes con la aplicación de dosis similares de ME y *Fitomas-E* alcanzaron ganancias que superaron al control a partir de la aplicación de los biopreparados.

## **Conclusiones**

1. Se constató que los supuestos teórico-referenciales relacionados con la productividad del cultivo del frijol y la utilización del digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos, fueron factibles para la investigación.
2. La composición fisicoquímica del digestato y los microorganismos eficientes permitió sustituir por una fuente orgánica la demanda nutricional del frijol y fundamentar los efectos positivos como mejoradores del cultivo.
3. El mejor comportamiento agroproductivo fue posible a partir de la aplicación de microorganismos eficientes y digestato anaerobio de estiércol porcino al 16 %, con un incremento en los rendimientos del 81,1 %.
4. La valoración económica mostró la posibilidad del uso del digestato o su mezcla con microorganismos eficientes para mejorar los costos de producción y las ganancias en la comercialización de frijol.

## Recomendaciones

- Profundizar en los estudios de patogenicidad del digestato para ser utilizado como abono orgánico según las Normas de Bioseguridad (ISO 14025).
- Realizar estudios complementarios que permitan evaluar la posibilidad de aplicación de esta prometedora alternativa a nivel de la pequeña y mediana escala agropecuaria.

## Bibliografía

- Alburquerque, J., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájerab, I., Baixaulib, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., & Bernal, M. (2012). *Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. European Journal of Agronomy*, 43, 119-128.
- Alburquerque, J., de la Fuente, C., Ferrer, A., Carrasco, L., Cegarra, J., Abad, M. & Bernal, M. (2012). *Assessment of the fertilizer potential of digestate from farm and agroindustrial residues. Biomass and Bioenergy*, 40, 181-189.
- Alfa, M., Adie, D., Igboro, S., Oranusi, U., Dahunsi, S. & Akali, D. (2014). *Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic effluent of cow dung and chicken droppings. Renewable Energy*, 63, 681-686.
- Alonso, A. (2013). *Aplicación de bioproductos en la producción de la variedad de frijol común Velazco largo*. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Sancti Spíritus, Cuba
- Álvarez, A. (2004). *Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico*. Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos. La Paz, Bolivia: Lideproq.
- APHA-AWWA-WEF. (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. Washington DC, USA: American Public Health Association.
- Atilio, C. y Reyes, C. (2008). *Guía Técnica para el Manejo de Variedades de Frijol*. El Salvador.
- Avelares, J. y Marín, V. (2003). *Evaluación de 16 variedades de frijol común negro (Phaseolus vulgaris L.) en época de primera, en la estación experimental "La Compañía, Carazo*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Ayers, R. y Westcot, D. (1987). *La calidad del agua y su uso en la agricultura*. Estudio FAO. Riego y Drenaje 29. *Food and Agriculture Organization*, 223. Roma, Italia.
- Azpilcueta, M., Pedroza, A., Sánchez, I., Jacobo, S., del Rosario, M. y Trejo, R. (2017). *Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (Zea mays L.) en la comarca lagunera*. México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(1), 75-83.

- Barquero, E. y Hernández, L. (2003). *Evaluación de 16 Genotipos de Frijol común Negro (Phaseolus vulgaris L.) en época de Primera en “La Compañía Carazo”*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Barrios, F. y Siura, S. (2001). *Efectos de diferentes concentraciones de Biol aplicados foliarmente y al suelo en el cultivo de vainita (Phaseolus vulgaris L.)*. Perú.
- Bendixen, H. (1999). *Hygienic safety: results of scientific investigations in Denmark (sanitation requirements in Danish Biogas Plants)*. In: *Proceedings of the IEA Workshop: Hygienic and Environmental Aspects of Anaerobic Digestion*. Alemania, Stuttgart: Legislation and Experiences in Europe. Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Botero, R. (2006). *Generación de energía eléctrica a partir de biogás*. Universidad EARTH, Costa Rica.
- Cajamarca, D. (2012). *Procedimientos para la elaboración de abonos*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Cerrato, J. (1992). *Evaluación de 16 variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) colectadas en diversas zonas de Nicaragua*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- CESTA. (2013). *Elaboración de Insumos Orgánicos*. Amigos de la Tierra, El Salvador. Recuperado de: <http://www.cesta-foe.org.sv>
- CIA y UCR. (2002). *Fertilización foliar. Principios y Aplicaciones*. Centro de investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- De Gaugge, L. y Castellano, A. (2009). *Manual Fertilizantes y Enmiendas*. Honduras.
- de la Rosa, K. (2016). *Efecto del digestato y su mezcla con microorganismos eficientes sobre el comportamiento agroproductivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”. Sancti Spíritus, Cuba.
- DICTA. (2012). *Guía práctica para la producción de frijol*. Honduras. Recuperado de: [www.sag.gob.hn/dmsdocument/2956](http://www.sag.gob.hn/dmsdocument/2956)
- Domínguez, G., Galindo, A., Salazar, G. y Sánchez, F. (2014). *Las excretas porcinas como materia prima para procesos de reciclaje utilizados en actividades agropecuarias*. Recuperado de:

[http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4259/0102\\_0853700072306\\_CIRPAC.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4259/0102_0853700072306_CIRPAC.pdf?sequence=1)

- Fernández, M & Eichert, S. (2009). *Uptake of Hydrophilic Solutes Through Plant Leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. Critical Reviews in Plant Sciences.*
- Fernández, V.; Sotiropoulos, T. y Brown, B. (2015). *Fertilización Foliar Principios Científicos y Práctica de Campo.* París, Francia.
- Franco, F. (2004). *Lista oficial de plantas. Material complementario para la Botánica.* Universidad Central de Las Villas, Centros de estudios Jardín Botánico. Villa Clara, Cuba.
- Gallo, Y. (2013). *Comportamiento de diferentes biopreparados orgánicos como suplemento nutricional en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.).* (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Sancti Spíritus, Cuba.
- Gálvez, B. (2005). *Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistries.* USA: Arlington. Virginia.
- Garfi, M., Gelman, P., Comas, J., Carrasco, W. & Fermer, I. (2011). *Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. Waste Management, 31(12), 2584–2589.*
- Georgacakis, D., Sievers, D. & Ianotti, E. (1982). *Buffer stability in manure digesters. Agricultural Wastes, 4, (6).*
- Gibert, C. & Lescourret, M. (2005). *Modelling the effect of fruit growth on surface conductance to water vapour diffusion. Annals of Botany.*
- Gómez, M. (2003). *Nutrición foliar de minerales y solutos orgánicos.* Documento interno. Dirección de Investigación. *Microfertisa.* Bogotá, 31.
- Gómez, M. y Castro, H. (2010). *Manejo de La Fertilización Foliar y Bioestimulantes.* Recuperado de: [www.agrodesa.com](http://www.agrodesa.com)
- Guevara, T., Méndez, G., Vega, L., González, P., Puertas, A. y Fonseca, C. (2013). *Influencia de diferentes dosis de FitoMas-E en el frijol común. Centro Agrícola, 40(1), 39-44.*

- Guyot, J. (1994). *Digestión anaerobia*. Environmental Eng. Group, Biotech. Res. Inst. NRC. Montreal, Canada.
- Hernández, G., Torres, A. y Cruz, O. (2003). *Efecto del biostán sobre componentes morfológicos y fisiológicos del crecimiento en Phaseolus vulgaris L., de grano negro variedad Criollo en condiciones de producción*. En: Resúmenes V Encuentro Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba
- Hernández, J. (2013). *Aplicación foliar de tres dosis de microorganismos eficientes en el comportamiento agroproductivo de las variedades de frijol común Velazco largo y Cuba cueto*. (Tesis de Grado). Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Cuba.
- Hilbert, J. (2000). *Manual para la producción de Biogás*. Argentina: Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón.
- Hong, Z., Li, S., Yan, Z., Xiao, Z. & Jian, Q. (2012). *Conversion of spent mushroom substrate to biofertilizer using a stress-tolerant phosphate-solubilizing Pichia farinose FL7*. *Bioresource Technology*, 111, 410–416.
- Jarsun, R., Bustos, V. y Carnero, M. (2008). *Manual de uso e interpretación de aguas*. Laboratorio de Suelos, Agua y Efluentes. Secretaría de Medio Ambiente. Córdoba, España.
- Jiménez, A. (2013). *Alternativas de fertilización en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad Tomeguín 93*. (Tesis de Grado). FAME
- Johansen, A., Carter, M., Jensen, E., Hauggard, H. & Ambus, P. (2013). *Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O*. *Applied Soil Ecology*, 63, 36–44. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139312002260>.
- LABIOFAM. (2014). *Vademecum*. La Habana, Cuba: Palcograf
- Leyva, G., Leyva, R., Laguna, Á. y Fernández, S. (2013). *Efectos de dos sistemas de labranzas en los rendimientos del frijol*. *Innovación Tecnológica*, 19.
- Lin, C. (2005). *Temperature Characteristics of the Methanogenesis Process in Anaerobic Digestion*. *Water Science Technology*, 19, 299-310.

- Lizardo, R. (2014). *Utilización de alimentos líquidos para el ganado porcino*. IRTA - Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, 16, 8-9.
- Locayo, J. (2010). *Elaboración de abonos orgánicos y biofertilizantes*. Bluefilm's, Machete Verde, FAO.
- López, Y. y Pouza, Y. (2014). Efecto de la aplicación del bioestimulante Fitomas-E en tres etapas de desarrollo del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*L.). *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 7(20), 1-10.
- Makádi, M., Tomócsik, A., & Orosz, V. (2012). Digestate: a new nutrient source—review. *Energy*, 4(7.5), 8-7.
- Marchaim, U. (1992). *Biogas processes for sustainable development*. MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona. Recuperado de: [http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/Marchaim\\_biogas\\_processes\\_fao\\_1992.pdf](http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/Marchaim_biogas_processes_fao_1992.pdf)
- Marín, G. (1980). *Estado de fertilidad de los suelos y necesidad de fertilización para la zona Sur del Norte de Santander*. Bogotá, ICA.
- McGarry, M. & Stainforth, J. (1978). *Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China*. Recuperado de: [http://journeytoforever.org/biofuel\\_library/biogasPRC.pdf](http://journeytoforever.org/biofuel_library/biogasPRC.pdf)
- Méndez, J., Chang, R. y Salgado, Y. (2011). Influencia de diferentes dosis de Fitomas-E en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*L.). *Granma Ciencia*. 15(2), 1-10.
- MINAGRI. (2008). *Instructivo Técnico del Frijol*. La Habana, Cuba: Ministerio de la Agricultura.
- Moncayo, G. (2005). *Manejo ecológicamente compatible de las cuencas de Tungurahua; Digestión anaeróbica y diseño de Biodigestores*. Ecuador.
- Morandi, B. & Manfrini, P. (2010). The positive effect of skin transpiration in peach fruit growth. *Journal of Plant Physiology*.
- Pérez, E y Muñoz, J. (1991). *Agricultura y Alimentación en Cuba*. La Habana: Ciencias Sociales.
- Pineda, A. y Selva, A. (2004). *Evaluación adaptativa de 16 genotipos de frijol común negro (Phaseolus vulgaris L.) en época de postrera, en la estación experimental*

- “*La Compañía, Carazo*”.(Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Poey, J. (2012). *Efecto de diferentes biofertilizantes en el rendimiento de la variedad de frijol (PhaseolusvulgarisL.) Bat-304. (Tesis de Grado)*. Universidad de Sancti Spíritus, Sancti Spíritus.
- Poey, J., Olivera, D., Calero, A., Meléndrez, J. y Sánchez, N. (2012). *Efecto de diferentes biofertilizantes en el comportamiento morfoagronómico de la variedad de frijol común (PhaseolusvulgarisL.) Bat-304*. Memorias [CD-ROM.] XVIII: Congreso Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Quintero, E. (1996). *Manejo de algunos factores fitotécnicos en frijol común en condiciones de una agricultura sostenible*.(Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central de Las Villas, Cuba.
- Quintero, E. (1997). *Propuesta de estructura varietal del frijol común para la región Central de Cuba*. Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santa Clara.
- Quintero, E. (2000). *Manejo agrotécnico del frijol en Cuba*. Monografía. Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santa Clara.
- Quintero, E., Gil, D., Guzmán, P. y Saucedo, C. (2004). *Banco de germoplasma de frijol del CIAP: fuente de resistencia a la roya*.Workshop Cuba-Bélgica. Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santa Clara.
- Quintero, E., Gil, V., Ríos, L., Martínez, M. y Díaz, M. (2006). *El fitomejoramiento participativo del frijol y su impacto en la introducción de caracteres positivos a los sistemas agrícolas de Villa Clara*. Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santa Clara
- Quintero, F. (2002). *Manejo agrotécnico del frijol en Cuba*. Santa Clara, Cuba
- Ravelo, D. (2010). *Definición y caracterización de purines*. Taller Demostrativo sobre el aprovechamiento Energético de Purines en Extremadura. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/ferrato2010/daisy-ravelo-ron-memorias-purines-extremadura-2010>

- Reyes, M. (2009). *Producción porcina y el medio ambiente. Observatorio de economía latinoamericana*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2010/vmrg.htm>.
- Rojas, G. y Ojeda, Á. (2002). *Caracterización de los residuos sólidos de efluentes de granjas porcinas y su utilización en vacunos de ceba en confinamiento*. Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/27696/2/articulo3.pdf>
- Ros, S. (2001). *La empresa de Jardinería y paisajismo*. Ed: Mundi Prensa, Madrid.
- Rosabal, L., Martínez, G., Reyes, G. y Núñez, V. (2013). *Resultados preliminares del efecto de la aplicación de Biobras-16 en el cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Cultivos Tropicales, 34(3), 71-75.
- Sabater, J. y Lobo, J. (2008). *Tratamiento, Reducción y Valorización de Purines de Cerdo*.
- Sahlström, L. (2003). A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology*, 87(2), 161-166.
- Sancé, J. (2000). *Evaluación de cuatro productos orgánicos y un Químico como Fertilizantes Foliare sobre el rendimiento del Cultivo del Frijol (Phaseolus Vulgaris L.)*. En Dos Localidades del Municipio de Ipala, Chiquimula. Chiquimula, Guatemala.
- Sánchez, N. (2012). *Influencia de la aplicación de microorganismos eficientes y Fitomas- E en la producción de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en época de siembra temprana*. (Tesis de Grado). Universidad de Sancti Spíritus, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba.
- Socorro, Q. (1989). *Granos*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Sueiro, A., Rodríguez, M. y De la Cruz, S. (2011). *El Uso de Biofertilizantes en el Cultivo del Frijol: Una Alternativa para la Agricultura Sostenible en Sagua la Grande*.
- Tapia, H. y Camacho, A. (1988). *Manejo Integrado de la Producción de Frijol, basado en labranza cero*: GTZ. Managua, Nicaragua.

- Terrero, J. (2007). *Aplicación de tres sustancias bioestimulantes a siembra directa y trasplante en el pepino variedad "SS-5"*. Trabajo de investigación. Fórum Nacional Estudiantil Agropecuario. Universidad de Granma. Cuba.
- Trinidad, A. y Aguilar, D. (2000). Fertilización Foliar, Un Respaldo Importante en el Rendimiento de los Cultivos. Tierra Latinoamericana. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo*, 17(3), 247-255.
- Urbano, P. (1995). Tratado de fitotecnia general. (2ed) : Mundi Pesa.
- Valdivia, A. (2013). *Aplicación de Microorganismos Eficientes y Fitomas-E en el comportamiento agroproductivo de la variedad de frijol común Velazco largo*. (Tesis de grado). Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez" Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuba.
- Valencia, E., Artunduaga, M. y Gordillo, L. (2009). *Recuperación Parcial del Concentrado de la Porquinaza, una Alternativa Ambiental y Económica*. Recuperado de:  
<http://journalusco.edu.co/index.php/IngenieriaRegion/article/view/275>

## **Anexos**

### **Anexo 1**

Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego a partir de la Norma Riverside.

Concentración de sales solubles totales:

La concentración de sales solubles totales viene expresada como conductividad eléctrica en  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Se establecen cuatro grupos de agua:

C<sub>1</sub>

Aguas de baja salinidad.

Conductividad comprendida entre 100 y 250  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Con esta agua se puede regar la mayoría de los suelos y cultivos, sin temer a perjuicios salinos. El lavado natural es suficiente y solo en los terrenos de muy baja permeabilidad hay que realizar trabajos especiales.

C<sub>2</sub>

Aguas de salinidad media.

Conductividad comprendida entre 250 y 750  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Puede utilizarse si existe un moderado lavado. Los cultivos con resistencia media a la salinidad se deben desarrollar bien.

C<sub>3</sub>

Aguas altamente salinas.

Conductividad comprendida entre 750 y 2 250  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

Tienen que existir buenas condiciones de drenaje, se debe controlar la salinidad y solo deben cultivarse plantas muy resistentes a la salinidad.

C<sub>4</sub>

Aguas extremadamente salinas.

Conductividad superior a 2 250  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Para suelos muy permeables y de buen drenaje. Esta agua solo es utilizable bajo condiciones especiales. Los cultivos serán los más resistentes a la salinidad.

La conductividad debida al S.A.R será de: S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>.

S<sub>1</sub>

Aguas con bajo contenido de sodio.

Pueden usarse sin que sean de esperar serios perjuicios en el desarrollo vegetal. Solo plantas muy sensibles, algunos frutales, serían dañados.

S<sub>2</sub><sup>-</sup>

Aguas con contenidos medios de sodio.

Existe cierto grado de peligro cuando se van a regar suelos de textura fina con alta capacidad de cambio, especialmente con mal drenaje. Pueden ser empleados en suelos de textura gruesa o suelos orgánicos si existe buena permeabilidad.

S<sub>3</sub><sup>-</sup>

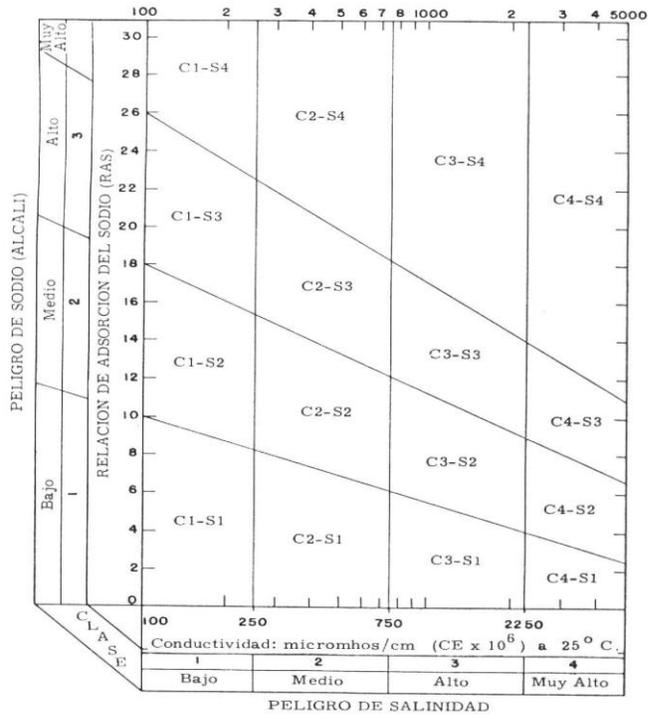
Aguas con alto contenido de sodio.

Pueden ocasionar elevados niveles de sodio intercambiable en la mayoría de los casos, por lo que los suelos necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, intenso lavado y adiciones de materia orgánica.

S<sub>4</sub><sup>-</sup>

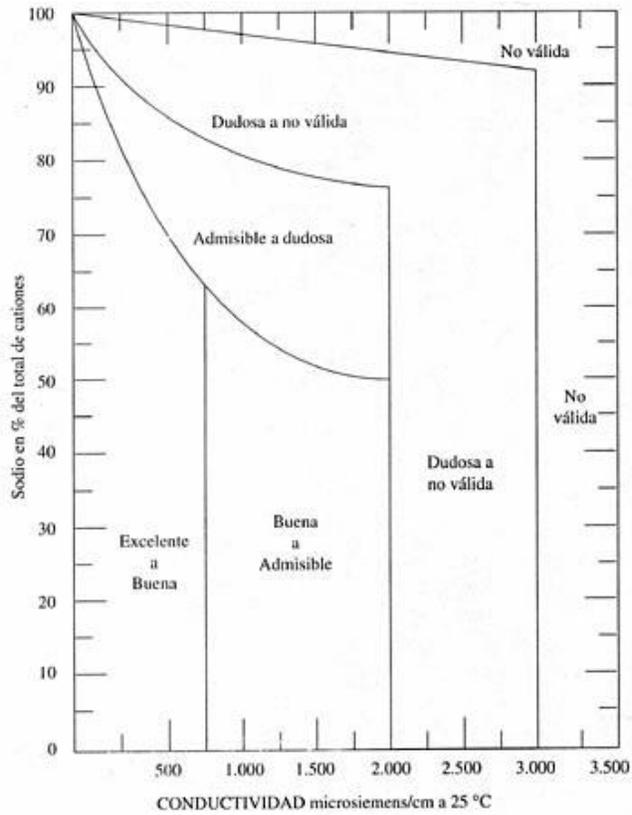
Aguas con muy alto contenido de sodio. Salvo casos especiales esta agua no es utilizada para riego.

Esta clasificación proporciona 16 clases diferentes de agua. El siguiente diagrama clasifica las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).



## Anexo 2

Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego a partir de la Norma Wilcox.



## Anexo 3

Gráfico del Modelo Ajustado  
Rendimiento  $t \cdot ha^{-1} = -3,31176 + 1,19824 \cdot \text{Número de granos (u)}$

