



Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Carrera Ingeniería de Procesos Agroindustriales

## Trabajo de Diploma

**Efecto bioestimulador del digestato en el comportamiento  
agroproductivo del cultivo del tomate (*Solanum  
lycopersicum* L.)**

Aspirante: **Elianis Yanet Fleites Alvarez**

Tutores: Lic. Janet Jiménez Hernández  
MSc. Alexander Calero Hurtado

**Sancti Spíritus, 2014.  
“Año 56 de la Revolución”**

*Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.*

*Un esfuerzo total es una victoria completa.*

*Mahatma Gandhi (1869-1948) Político y pensador indio.*

## DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para mi madre que hizo todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba.

A mis abuelos que como padre y madre siempre los he visto, gracias a su sabiduría influyeron en mi la madurez para lograr todos los objetivos en la vida, es para ustedes está tesis en agradecimiento por todo su amor.

A mi tía y mi pareja que con su paciencia y comprensión, prefirieron sacrificar su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por toda su bondad y sacrificio me inspiraron a ser mejor cada día, gracias por estar siempre a mi lado.

A mis tutores y profesores que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

Gracias a mis compañeros de aula y a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño está tesis se las dedico a ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar doy gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también el apoyo y la confianza brindada por parte de mi madre, que sin duda alguna en el avance de mi vida me ha demostrado su amor corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi tía, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado en el trayecto de mi vida.

A mi abuelo, que siempre lo he sentido presente. Y sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

A mi abuela, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con ella.

A mis compañeros de trabajo quienes con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de este proyecto.

Al colectivo de trabajadores de Sanidad Vegetal en Banao por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo.

A todos los profesores, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis tutores porque cada uno con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto y por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

Y finalmente muchas gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

## RESUMEN

El rendimiento en cultivo del tomate es bajo en la mayoría de los países, debido al efecto negativo que ejercen los factores climáticos, la incidencia de plagas y el mal manejo de la fertilización, como hipótesis de la investigación se proyectó que la utilización del digestato y la mezcla con microorganismos eficientes en el cultivo del tomate permitirán el incremento de la producción agrícola de esta hortaliza y reducir los costos de producción, con el objetivo de evaluar el efecto estimulante del digestato de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino en el incremento productivo del cultivo del tomate. Se realizó una caracterización físico-química del digestato en el laboratorio de Biogás de la Universidad de Sancti Spíritus y se determinó la materia seca, materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica, el K y Na por fotometría de llama,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por complejometría,  $\text{PO}_4^{3-}$  por colorimetría y concentración de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). Se evaluaron diferentes concentraciones del digestato en condiciones de campo, en la finca de un productor de la CCS "Celia Sánchez" situada en la localidad de Banao, provincia Sancti Spíritus, el trasplante se realizó de forma manual en un suelo pardo con diferenciación de carbonato y se utilizó un diseño de bloques al azar y se observaron y evaluaron los principales indicadores agroproductivos como altura de las plantas, número de hojas, número de flores y el rendimiento agrícola y sus componentes, así como, las ganancias y los costos de producción. Los resultados mostraron que la aplicación del digestato en el cultivo del tomate incrementa los indicadores evaluados como el número de hojas, altura de las plantas y cantidad y longitud de las raíces a escala de laboratorio y en campo la cantidad de frutos por plantas, el rendimiento y las ganancias con respecto al control en los dos experimentos.

## **Abstract**

The yields in crops tomatoes is lowly in the major countries owed the negative effect to exerting the climatic factors, like that the influence of pest and the bad management of fertilizer, how hypothesis of the research it projected that the use of digestate and the efficient microorganisms mixes in tomato crops will be permit the increase of agricultural production of this vegetable and the reduction of production costs, with the fallow aim to evaluate the stimulant effect of digestate of one anaerobic reactor fed pig manure to the increased of crops production tomatoes. It carried out one physical-chemical characterization of digestate in Biogas laboratory of Sancti Spiritus university and to determinate dry matter, organic matter, ph, the conductivity electric, the K and Na per flame photometry,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  per complexometric,  $\text{PO}_4^{3-}$  per colorimetric and ammoniac nitrogen concentration ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). It was evaluate different concentration in fields conditions in areas of farmer of private producer in collective cooperative "Celia Sanchez" in Banao zone, province of Sancti Spiritus, the transplant traditional form on drown with differentiation soils and used the block random design and was observed and evaluate the agronomic productive parameters how height of plants, number of leaf per plant, flowers per plant and agricultural yields and your components. The results showed that the application of the digestate in tomatoes crop increased the assessment indicators how the leaf number, height of plant and long and quantity of roots to the laboratory and fields conditions increased too the number of fruit per plant, the yields and gain with respect to control in two experiment phases.

## INDICE

	<b>PAG.</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.</b>	
1.1. Origen y domesticación.	7
1.2. Producción mundial y nacional.	8
1.3. Composición nutritiva.	9
1.4 Taxonómica del cultivo.	9
1.5 Exigencias climáticas.	10
1.5.1 Luminosidad o Radiación.	10
1.5.2 Temperatura.	11
1.5.3 Humedad Relativa.	11
1.6 Sistemas de producción de tomate.	12
1.7 Exigencias nutricionales.	13
1.7.1. Químicas.	13
1.8 Utilización y aplicación de bioproductos y productos orgánicos.	13
1.8.1 Aplicación de microorganismos eficientes.	13
1.8.2 Utilización de Fitomas-E.	16
1.8.3. Digestato.	19
1.8.3.1 Propiedades del digestato, nutrientes y sustancias que proporcionan valor.	20
1.8.3.2 Las ventajas del digestato frente a los fertilizantes tradicionales.	21
<b>Capítulo 2. Materiales y métodos.</b>	
2.1. Determinación de los posibles problemas que pudieran intervenir en el incremento productivo del cultivo del tomate.	24
2.2. Metodología de desarrollo de la herramienta del Método de Experto	24
2.2.1 Proceso de selección de los expertos	24

2.2.2 Evaluación de la opinión de los expertos	26
2.3 Experimentación a escala de campo. Localización y características del suelo utilizado	27
2.4 Determinación de parámetros físico-químicos en el suelo utilizado y para caracterizar los abonos digestato y microorganismos eficientes	27
2.5 Diseño experimental	27
2.6 Aplicación del digestato y los ME. Indicadores evaluados	28
2.7 Análisis estadístico	29
2.8 Valoración económica	29
<b>Capítulo 3. Resultados y discusión.</b>	
3.1 Posibles problemas que intervienen en el incremento productivo del cultivo del tomate	30
3.2 Aplicación del método de expertos sobre el conocimiento de la utilización de los biofertilizantes en el cultivo del tomate	31
3.3. Composición físico-química y los abonos evaluados	31
3.4. Efecto de la aplicación del digestato a plantas de tomate a escala campo. Estudio combinado con microorganismos eficientes	32
<b>Conclusiones</b>	40
<b>Recomendaciones</b>	41
<b>Bibliografía</b>	
<b>Anexos</b>	

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas de mayor consumo en el mundo. En Cuba constituye la hortaliza de mayor importancia, teniendo en cuenta el hábito de consumo, tanto de forma fresca como en conservas. La producción de tan preciada hortaliza no es capaz de abastecer la alta demanda, ya que los rendimientos obtenidos en campo son bastante bajos y su producción se enmarca en pocos meses del año (Figueredo *et al.*, 2002).

El tomate es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia comercial en el mundo; es priorizado, debido a su alta demanda y a la gran importancia que posee en la dieta de la población, tanto para consumo fresco como en conservas (Prohens y Nuez, 2008). No obstante, el rendimiento es bajo en la mayoría de los países tropicales, debido al efecto negativo que ejercen los factores climáticos, fundamentalmente las altas temperaturas, lluvias y humedad relativa elevada, así como la incidencia de plagas y enfermedades (FAOSTAD, 2007).

En Cuba este cultivo se puede sembrar todo el año, pero los problemas cambian según la época. En el período de lluvias la incidencia de enfermedades es mayor mientras que durante la época seca las plagas son el mayor problema. Sin embargo dichos problemas son superables mediante un conjunto de prácticas agrícolas que incluyan métodos de manejo y controles adecuados, los cuales tienen que ser realizados en el momento y la forma precisa en que se indican, ya que de éstas depende el éxito de una buena cosecha.

Para aumentar la producción agrícola, en el mundo se han desarrollado un grupo de productos químicos y biológicos potenciadores del crecimiento vegetal que resultan caros en las condiciones económicas actuales, por tal motivo es de vital importancia la búsqueda de nuevas variantes de fertilizantes que sean de producción nacional y de fácil obtención (Fonseca, 1993).

Se han realizado múltiples ensayos en este cultivo pues esta es una de las hortalizas más importante (si no la que más), tanto por las preferencias de la población como desde el punto de vista de las ventas al turismo. El tomate se cultiva en Cuba tanto por

la agricultura urbana (manejo de bajos insumos), como por la agricultura convencional bajo condiciones de campo y en el sistema intensivo de casas de cultivo (Montano, 2008).

En la actualidad resulta de gran importancia investigar y encontrar variantes que permitan el desarrollo de una agricultura rentable y menos contaminante del medio ambiente. En los últimos 15 años, se han podido apreciar una reducción significativa en la utilización de agroquímicos en la agricultura, produciendo una lenta pero significativa introducción de medios alternativos para el control de patógenos (Pérez, 2006 y Martínez *et al.*, 2007).

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 (Ruiz *et al.*, 2009).

Los reguladores del crecimiento en pequeñas cantidades aumentan, inhiben o modifican, de una forma u otra, cualquier proceso fisiológico del vegetal. Los estimuladores se consideran productos que activan el crecimiento y desarrollo de las plantas, aportándoles compuestos directamente utilizables (De Liñan, 2000).

En la actualidad, en el mundo existe poca información de trabajos con productos bioactivos; sin embargo, Cuba cuenta con una amplia gama de ellos, entre los cuales puede citarse el logro en el INCA, que consiste en una mezcla de oligogalacturónidos (MO) obtenida por síntesis química a partir de la degradación enzimática de pectina cítrica, que consiste en una mezcla enriquecida de oligogalacturónidos con un grado de polimerización entre 7 y 16, se ha demostrado que es capaz de estimular el crecimiento de algunas especies vegetales (Costales, 2007 y Nápoles, 2007).

Las propiedades y constituyentes del digestato se determinan esencialmente por los materiales utilizados para la digestión anaeróbica así como por el proceso de digestión mismo. Las plantas de biogás agrícola en Alemania usan principalmente lodo líquido de ganado y cerdos, bosta de ganado y cerdos y guano de aves de engorde de aves. Es menos común el uso de fertilizante agrícola proveniente de granjas de gallinas

ponedoras debido a los altos concentrados de amoníaco y a los residuos de la alimentación suplementaria (Álvarez, 2004).

Este mismo autor plantea que entre las ventajas que presenta el digestato respecto los fertilizantes convencionales destaca el hecho que son más aptos para el uso agrícola, generan menos olores, y presentan una mayor calidad higiénica al poseer 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 de cultivos de contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos, resistencia al ataque de patógenos e insectos, y favorece la mayor lignificación de los tejidos.

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que la obtención de posturas de tomate de buena calidad y conjunto con 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 Sancti Spíritus en la producción de esta hortaliza, se decidió aplicar el digestato como fuente alternativa en la nutrición de este cultivo.

Por ello surge el siguiente **problema científico**. ¿Cómo incrementar la producción del cultivo del tomate con la aplicación del digestato de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino?

Para ello se formula el siguiente **objetivo general**: evaluar el efecto bioestimulador del digestato de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino en el comportamiento agroproductivo del cultivo del tomate.

## Objetivos específicos.

- Determinar por método experto las causas que ocasionan los bajos rendimientos y altos costos de producción en el cultivo del tomate
- Caracterizar el digestato obtenido de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino y los microorganismos eficientes en este estudio.
- Evaluar el efecto de la aplicación del digestato y la mezcla con microorganismos eficientes en el comportamiento agroproductivo del cultivo del tomate.
- Determinar el efecto agronómico de ambos abonos orgánicos mediante el análisis económico de los costos del proceso.

El trabajo se fundamenta y se le da respuesta a la siguiente **hipótesis**:

La utilización del digestato y la mezcla con microorganismos eficientes en el cultivo del tomate permitirán el incremento de la producción agrícola de esta hortaliza y reducir los costos de producción.

Variable independiente: sistema de nutrición foliar para condiciones de campo, que incluya un manejo adecuado del cultivo.

La dimensión de esta variable está dada por la incorporación del digestato en la producción de tomate en condiciones de campo, que permita introducirse como un nuevo producto, que satisfaga los requerimientos y exigencias del cultivo.

Los tratamientos evaluados a diferentes concentraciones del digestato (5, 10 y 15 %) y mezclado con microorganismos eficientes (ME) (digestato 5%+ME 5%; digestato 10%+ME 10%; digestato 15%+ME 15%) comparados con un control (agua).

En el contexto de este trabajo los rendimientos agrícolas como variable dependiente están dados en la siguiente dimensión fundamental:

1. La dimensión de esta variable está dada en la producción en toneladas por hectáreas ( $t \cdot ha^{-1}$ ) de la hortaliza con buena calidad y menos contaminación.

La metodología del trabajo se utiliza métodos teóricos:

-El método **histórico lógico** nos permite conocer los antecedentes, el desarrollo y la tendencia del estudio de los indicadores del rendimiento agrícola del tomate.

-El **analítico sistémico** para el estudio de los indicadores del rendimiento agrícola del tomate, para las consultas bibliográficas de expertos y técnicos en la materia de la producción, intercambio en reuniones, análisis de documentos emitidos relacionados con el tema. Esto propició sintetizar los enfoques actuales analizar sus ventajas y desventajas sobre las cuales se proyectó la investigación.

-La **inducción y la deducción** posibilitó hacer inferencias que en combinación con el análisis y la síntesis, permitieron determinar el problema, definir el objeto, precisar el campo de acción, llegar a conclusiones y generalizaciones que caracterizan la tendencia del objeto.

-**Método de tránsito de lo abstracto a lo concreto**: posibilitó la concreción del modelo teórico en el plano concreto pensado y en su deducción en la práctica .Mediante los análisis hechos a partir de los parámetros de rendimientos establecidos.

-**Empírica**: que están determinados por la especificación de la época de siembra y plantación en que se desarrolla la investigación. La localidad y el área de experimentación y los procedimientos utilizados para la obtención de los datos.

En el trabajo de investigación se hace un estudio de la aplicación del digestato sobre los rendimientos agrícolas del tomate, se valoró los indicadores del rendimiento agrícola del cultivo del cultivar Rilia, para lo cual se estructura de la siguiente forma:

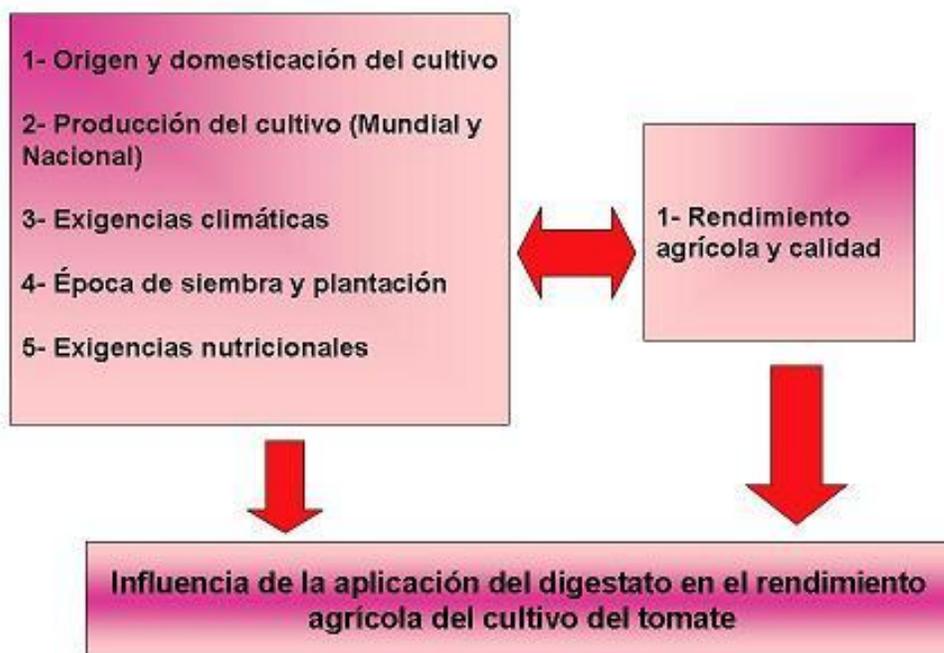
- Un capítulo donde se realiza una revisión bibliográfica detallada acerca del cultivo del tomate y la utilización del digestato como fertilizante.

- Un capítulo dos que es parte del desarrollo, donde se realiza una caracterización del digestato y se detallan los materiales y métodos utilizados así como las evaluaciones realizadas.

-Un capítulo tres donde se analizan y discuten los principales resultados obtenidos con un análisis económico de los mismos, posteriormente se arriban a las conclusiones y

recomendaciones del trabajo y se expone la bibliografía utilizada y los anexos correspondientes.

## Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.



**Figura 1.1. Hilo conductor de la Investigación Fuente: Elaboración Propia**

### 1.1. Origen y domesticación.

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una planta de origen americano, al parecer de la zona que hoy comparten el norte de Chile, Perú y el sur de Ecuador, su nombre se deriva de la lengua Nahuatl y de los términos Aztecas “Tomalt”, “Xitomate” y “Xitotomate” (Maroto, 1992). Es la hortaliza más extensamente cultivada en el mundo. Se localizó en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, pero parece que fue en México donde se domesticó porque crecía como mala hierba en los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, por esa fecha ya habían sido llevados a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países

asiáticos, de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (Biblioteca técnica Servicios y Almacigos SA la Serena, Chile, 2004).

## **1.2. Producción mundial y nacional.**

El tomate es la hortaliza de mayor importancia en el mundo, representa más del 30 % de la producción hortícola. Su superficie de siembra es de 4 161 295 hectáreas. En condiciones de campo la producción es de 110 513 591 toneladas y el rendimiento promedio de 27 toneladas por hectárea. Mientras en América del Norte el rendimiento es de 63 t/ha, en la zona del Caribe solamente se alcanzan rendimientos de 11 t/ha (FAOSTAT, 2003).

La producción de tomate en Cuba se ha caracterizado por grandes fluctuaciones en los volúmenes de producción y sobre todo en los rendimientos, estos últimos han oscilado entre cinco y siete toneladas en los últimos siete años, muy por debajo de las posibilidades del clima, suelo y experiencias en el cultivo con que cuenta el país (Casanova *et al.*,2000).

Por otro lado, la tendencia actual de producción de tomate, es realizarla bajo invernadero, dichas estructuras pretenden mejorar las condiciones ambientales para incrementar la bioproductividad, presentándose producciones de tomate de 300 a 500 ton/ha/año, en función del nivel de tecnificación del invernadero, el cual garantiza que el producto cumpla con los estándares de calidad e inocuidad alimentaria (Castilla, 2003).

En Cuba las producciones de tomate en casas de cultivos son discretas, comparado con los países del área como México y otros, el rendimiento esperado es de 200tn/año, en campaña de frío está entre 110 a 130 t/ha y en la campaña de verano de 6 a 9 t/ha. Esto depende del cultivar utilizado, la fecha de siembra y las prácticas de manejo utilizadas (Inisav, 2003).

### **1.3. Composición nutritiva.**

La producción de tomate mundial tuvo un incremento sostenido en el siglo pasado favorecido por un aumento gradual de su demanda, tanto al estado fresco como en forma procesada, ya que esta última variante ha desarrollado una amplia gama de productos. La composición nutritiva del tomate es del 94 % de agua, 1,1 g de proteínas, 0,2 g de grasas, 4,7 g de hidratos de carbono y su valor energético es de 22-24 calorías (por 100g de productos). Su gran aceptación y preferencia del tomate se debe a sus cualidades gustativas y su amplio uso, fundamentalmente, ya que su valor nutritivo no es muy elevado. Un estudio realizado por la Universidad de California clasifica al tomate en el número 16 respecto a la concentración relativa de un grupo de diez vitaminas y minerales, entre los principales cultivos de frutas, hortalizas y viandas en Estados Unidos, pero pasa a ocupar el primer lugar cuando se analiza la contribución de nutrientes que ofrece en relación con su preferencia y nivel de consumo en ese país (Rodríguez *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista alimenticio el tomate no puede ser considerado como alimento energético o plástico, sino como activador de la secreción gástrica, su aroma estimula el apetito, aumenta la secreción de saliva, y es el condimento que hace agradable al paladar los alimentos insípidos de elevado valor nutritivo, por lo que tiene una alta demanda tanto casero como industrial, por el buen sabor y presentación que le imparte a las diferentes especialidades de la cocina cubana. Su cultivo tiene grandes perspectivas. Debido a que el tomate es el principal cultivo hortícola en Cuba (Casanova *et al.*, 2000).

### **1.4 Taxonómica del cultivo.**

Es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Posee un sistema radical formado por una raíz principal, raíces secundarias y adventicias. Generalmente el 70% de las raíces se localizan a menos de 20 cm de la superficie y puede extenderse superficialmente sobre un diámetro de 1,5 m. El tallo es anguloso y cubierto por pelos, muchos de naturaleza glandular; pudiendo tener crecimiento rastrero, semierecto o erecto. Forma de 6 a 12 hojas, antes que la yema principal se transforme en

inflorescencia. El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia (Nuez, 1995).

El tomate pertenece al:

Reino. *Vegetal*,

División. *Tracheophyta*

Clase. *Angiosperma*

Subclase. *Dicotiledónea*

Orden. *Solanales*

Familia. *Solanaceae*

Subfamilia. *Solanoideae*

Género. *Lycopersicon*

Subgénero. *Eulycopersicon*

Especie. *Solanum lycopersicon*

## **1.5 Exigencias climáticas.**

### **1.5.1 Luminosidad o Radiación.**

El tomate es un cultivo que no lo afecta el fotoperíodo o largo del día, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas; aunque requiere buena iluminación. Los días soleados y sin interferencia de nubes, estimulan el crecimiento y desarrollo normal del cultivo. Por lo que esperaríamos que en nuestro medio, no se tengan muchos problemas de desarrollo de flores y cuaje de frutos por falta de luz. En la práctica se ha observado que los distanciamientos de siembra pueden afectar el desarrollo de las primeras flores por falta de luz, principalmente en aquellas variedades que tienden a producir mucha ramificación o crecimiento de chupones laterales, lo cual impide que la luz penetre hasta donde se lleva a cabo el desarrollo de los primeros racimos florales, afectando el cuaje y crecimiento de los frutos. Esta desventaja se puede solucionar haciendo podas de los chupones que crecen por debajo de los primeros racimos florales, o dando más distanciamiento entre plantas.

### **1.5.2 Temperatura.**

La temperatura del aire es el principal componente del ambiente que influye en el crecimiento vegetativo, desarrollo de racimos florales, el cuaje de frutos, desarrollo de frutos, maduración de los frutos y la calidad de los frutos. Los rangos para un desarrollo óptimo del cultivo oscilan entre los 28 - 30° C durante el día y 15 - 18° C durante la noche. Temperaturas de más de 35° C y menos de 10° C durante la floración provocan caída de flor y limitan el cuajado del fruto, aunque puede haber diferencias entre cultivares, ya que las casas productoras de semillas, año con año, mejoran estos aspectos a nivel genético, por lo que hoy en día podemos encontrar variedades que cuajen perfectamente a temperaturas altas.

### **1.5.3 Humedad Relativa.**

La humedad relativa óptima para el cultivo de tomate oscila entre 65 - 70 %; dentro de este rango se favorece el desarrollo normal de la polinización, garantizando así una buena producción; ya que por ejemplo, si tenemos condiciones de baja humedad relativa (- de 45%) la tasa de transpiración de la planta crece, lo que puede acarrear estrés hídrico, cierre estomático y reducción de fotosíntesis, afectando directamente la polinización especialmente en la fase de fructificación cuando la actividad radicular es menor. Valores extremos de humedad reducen el cuajado de los frutos; valores muy altos, especialmente con baja iluminación, reducen la viabilidad del polen, y puede limitar la evapotranspiración (ET), reducir la absorción de agua y nutrientes y generar déficit de elementos como el calcio, induciendo desórdenes fisiológicos (podredumbre apical del fruto), además esta condición es muy favorable para el desarrollo de enfermedades fungosas. Por otro lado valores muy bajos producen grandes exigencias en la evapotranspiración, lo que puede generar que la planta aumente el consumo de agua y deje de consumir nutrientes, limitando su crecimiento y acumulando sales en el medio, las cuales pueden llegar a ser un problema más, para el buen desarrollo del cultivo.

## 1.6 Sistemas de producción de tomate.

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas de mayor consumo en el mundo. En Cuba constituye la hortaliza de mayor importancia, teniendo en cuenta el hábito de consumo, tanto de forma fresca como en conservas. La producción de tan preciada hortaliza no es capaz de abastecer la alta demanda, ya que los rendimientos obtenidos en campo son bastante bajos y su producción se enmarca en pocos meses del año (Figueredo *et al.*, 2002). Los rendimientos alcanzados en hortalizas por algunos de los proyectos existentes en el país representan un importante salto cuantitativo con relación a los que se logran a campo abierto.

En Cuba, son diversos los factores climáticos que no favorecen el potencial productivo del tomate cultivado a campo abierto durante la época lluviosa y caliente, lo que trae como consecuencia que el mercado se mantenga desabastecido en este período. Entre ellos, se pueden citar: la radiación media global alta; fuertes precipitaciones; pequeña diferencia entre la temperatura del día y de la noche; temperaturas que sobrepasan el límite biológico permisible de la especie; alta humedad relativa y ocurrencia de tormentas tropicales. Se puede decir, por tanto, que la producción de tomate en el país es estacional, pues se desarrolla básicamente en el período seco, de noviembre a abril, en coincidencia con la ocurrencia de las temperaturas más bajas del año. Por tanto, aún cuando existe gran interés en su producción continua, es un hecho cierto que hay limitantes para su desarrollo durante la época lluviosa y caliente (Gómez *et al.*, 2008).

En Cuba existe un grupo de problemas para la producción de algunas hortalizas como país de clima subtropical húmedo como son: fuertes precipitaciones durante la época lluviosa; alta humedad del aire, en ocasiones cercana al 100 %; poca diferencia de temperatura entre el día y la noche con mayor acento durante la época lluviosa; las temperaturas se sitúan sobre el límite mínimo biológico. Para contrarrestar esto se han propuesto, entre otras alternativas, las casas de cultivo (cultivos protegidos) porque constituyen una tecnología promisoría que permite modificar total o parcialmente las condiciones ambientales (Gómez, 2000).

## **1.7 Exigencias nutricionales.**

### **1.7.1. Químicas.**

La utilización racional de los fertilizantes consiste en emplear cantidades adecuadas de estos, ya que muy poco aporte, origina bajos rendimientos y un exceso puede representar toxicidad de la producción así como afectación del medio ambiente y gastos adicionales e inclusive peores rendimientos y calidad de la cosecha, es por ello que una fertilización correcta resulta siempre uno de los medios más eficaces para lograr mejores cosechas, así como para mejorar la fertilidad del suelo (Arzola *et al.*,1986).

Los fertilizantes más empleados son los nitrogenados (sulfato de amonio, nitrato de amonio, urea, etc.). También se aplican fertilizantes compuestos, aplicados en banda al trasplante, debajo y al costado de la raíz de la planta.

Según Salgado, 2008 recomienda aplicar fertilizantes químicos, fórmula completa (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) antes del trasplante a razón de una tonelada por hectárea y entre los 35 y 40 días después del trasplante aplicar nitrato de amonio a la dosis de 0,5 t.ha<sup>-1</sup>.

## **1.8 Utilización y aplicación de bioproductos y productos orgánicos.**

### **1.8.1 Aplicación de microorganismos eficientes.**

Una de las alternativas que se presenta actualmente es la aplicación de microorganismos eficientes (ME), que bien utilizados puede reducir no sólo la contaminación del micro ambiente (control de malos olores, moscas), sino también mejorar la calidad de la gallinaza, acelerar la estabilización del proceso y disminuir el impacto ambiental causado por éste tipo de explotación es, pues el EM es un inoculado constituido por la mezcla de varios microorganismos benéficos (levaduras, actinomiceto, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas) que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido (Higa,1997).

Los microorganismos son efectivos solo cuando están presentes en óptimas condiciones para adecuarse a los sustratos, agua disponible, oxígeno (dependiendo de que si los

microorganismos son aeróbicos obligados o facultativos anaeróbicos), pH y temperatura del medio ambiente. Mientras tanto, por los adelantos tecnológicos, diferentes tipos de cultivos microbianos e inoculantes disponibles en el mercado, han aumentado rápidamente. Descubrimientos significativos han sido hechos en sistemas donde la ayuda técnica es coordinada por el mercadeo de productos microbianos. Los microorganismos son usados en la eliminación de problemas asociados con el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, y están ahora siendo aplicados ampliamente en la producción natural y agricultura orgánica (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 micoflora 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. Sin embargo, hay un consenso creciente sobre la posibilidad de lograr máximos niveles de económicos y alta calidad, mayor retorno neto, sin la aplicación de fertilizantes químicos, pesticidas y métodos de agricultura convencional. Es importante reconocer que las mejores prácticas de manejo de suelo y cultivos, para alcanzar una agricultura más sostenible incrementaran el crecimiento d, productividad y calidad de los cultivos (Higa y Parr, 1994).

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 sinérgicos siendo difícil de lograr si estos microorganismos son aplicados como terapia sintomática, al igual que en el caso de fertilizantes y pesticidas químicos (Higa y Parr, 1994).

Los microorganismos eficientes 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 posible efectos deseados en la producción de cultivos y/o en su protección. Si esas condiciones no se encuentran, la introducción de microorganismos, no importa lo útiles que sean, tendrá un pequeño o ningún efecto. Actualmente, no hay pruebas químicas que puedan predecir la posibilidad de que un microorganismo particular, en la inoculación al suelo, alcance los resultados deseados (García, 2006). 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 Parr, 1994).

Según Gil *et al.*, (2005) estos se pueden aplicar de diferentes formas, aplicación al suelo y aplicaciones foliares a los cultivos. La utilización de los microorganismos eficientes (EM) en el mantenimiento de los cultivos, tiene como objetivo el establecimiento 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 ambiente favorable para el desarrollo vigoroso de plantas. Cuando se aplica al suelo se debe realizar 15 días después de la germinación de las semillas o del trasplante, a  $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  de EM y con un intervalo mensual a través del sistema de riego, las aplicaciones foliares se deben realizar a soluciones de cinco litros de EM en 200 litros de agua y aplicar por aspersion a una hectárea. En cultivos intensivos puede ser necesaria una mayor cantidad de agua. Repita cada mes la aplicación. La utilización de EMA 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 su establecimiento en el sistema radicular que compitan con microorganismos patógenos.

### 1.8.2 Utilización de Fitomas-E.

Producto antiestrés con sustancias naturales propias del metabolismo vegetal, que *estimula y vigoriza* prácticamente cualquier cultivo, desde la germinación hasta la fructificación, disminuye *las daños* por salinidad, sequía, exceso de humedad, fitotoxicidad, enfermedades, plagas, ciclones, granizadas, podas y trasplantes. Frecuentemente *reduce el ciclo* del cultivo. Potencia la acción de los fertilizantes, agroquímicos y bioproductos propios de la agricultura ecológica lo que a menudo permite reducir entre el 30% y el 50% de las dosis recomendadas. Particularmente eficiente en policultivos propios de la agricultura de bajos insumos. Se aplica a dosis entre 0,1 y 2 L. ha<sup>-1</sup> con métodos convencionales. Es estable por 2 años como mínimo. No es tóxico a plantas ni animales (Montano, 2008).

Fitomas E es una mezcla de sales minerales y sustancias bioquímicas de alta energía (aminoácidos, bases nitrogenadas, sacáridos y polisacáridos biológicamente activos), seleccionadas del conjunto más representado en los vegetales superiores a los que pertenecen las variedades de cultivo, formuladas como una suspensión acuosa que se debe agitar antes de su utilización (Montano, 2008).

Efectos: aumenta y acelera la germinación de las semillas, ya sean botánicas o agámicas. Estimula el desarrollo de las raíces, tallos y hojas. Mejora la nutrición, la floración y cuajado de los frutos. Frecuentemente reduce el ciclo del cultivo. Potencia la acción de los herbicidas y otros plaguicidas lo que permite reducir entre el 30% y el 50% de sus dosis recomendadas. Acelera el compostaje y la degradación de los residuos de cosecha disminuyendo el tiempo necesario para su incorporación al suelo. Ayuda a superar los efectos negativos del estrés por salinidad, sequía, exceso de humedad, fitotoxicidad, enfermedades y plagas (Montano 2008).

Dosificación: se aplica en dosis desde 0,1 a 2,0 L.ha<sup>-1</sup>, según el cultivo, por vía foliar, siempre disuelto en agua hasta completar de 200 a 300 L.ha<sup>-1</sup> de volumen final. Cuando se remojan semillas para la germinación la disolución puede ser desde 1 % hasta 2 % en el agua de remojo. Cuando se aplica por riego las dosis pueden ser del orden de los 5 L.

ha<sup>-1</sup>. La frecuencia es variable, aunque una sola aplicación durante el ciclo suele ser muy efectiva.

La aplicación puede hacerse foliarmente, al suelo mediante riego por inundación o en soluciones de remojo, siempre disuelto en agua. Para estas aplicaciones se utiliza cualquier procedimiento convencional. Después de tres horas de aplicado se considera que ha penetrado a la planta por lo que ante una lluvia ocasional posterior no es necesario repetir el tratamiento. Fitomas-E no es fitotóxico y se puede mezclar con la mayoría de los agroquímicos de uso corriente, aunque se debe probar previamente si no se tiene experiencia (Yumar *et al.*, 2008).

En sistemas de bajos insumos López *et al*, 2007, llevó a cabo un estudio en el huerto intensivo Tames-1, perteneciente a la granja urbana del municipio Manuel Tames en la provincia Guantánamo en tomate de la variedad Amalia, se aplicó una agrotécnica basada en consideraciones agroecológicas en el manejo de plagas con medidas preventivas (desinfección del suelo con *Trichoderma harzianum* cepa G-16, siembra de especies repelentes y riego en función de los requerimientos de cada fase fenológica del cultivo, además se aplicó humus de lombriz previo a la siembra). Se usó el método de trasplante con posturas obtenidas de semillas certificadas con 98% de germinación en un marco de plantación de 0,90 x 0,25 m, para una densidad de ocho plantas por m<sup>2</sup>, 80 000 plantas por hectárea. Se utilizó Fitomas-E a (0,2 L.ha<sup>-1</sup>), (0,4 L.ha<sup>-1</sup>), E (0,5 L.ha<sup>-1</sup>) y (0,7 L. ha<sup>-1</sup>), dos aplicaciones, la primera a los cinco días después del trasplante y la segunda al inicio de la floración 15 días después de la primera. Los resultados demuestran que todos los tratamientos fueron mejores y significativamente diferentes del testigo y entre ellos. Todos los parámetros, con excepción del número de ramas, se incrementan a medida que crece la dosis de Fitomas. Los parámetros asociados al rendimiento: número de flores (crece 5%, 8%, 13% y 19%); número de frutos (crece 7%, 13%, 20% y 29%) y rendimiento en Kg/m<sup>2</sup> (crece 33%, 100%, 166% y 233%). Estos resultados ponen de manifiesto que con la dosis máxima aplicada (0,7 L.ha<sup>-1</sup>) no se alcanza un nivel de saturación por lo que se recomienda seguir incrementando las dosis. Con la dosis máxima de 0,7 L.ha<sup>-1</sup> se llegó a producir 10 Kg/m<sup>2</sup> que es un resultado muy superior al rendimiento histórico del huerto que era de 2 Kg/m<sup>2</sup>.

Según López *et al*, (2003) el efecto del Fitomas en tomate de la variedad aro 8484 de procedencia israelí, en un organopónico en la provincia de Santiago de Cuba. Utilizó Fitomas-E a 0,3 L. ha<sup>-1</sup>, 0,5 L.ha<sup>-1</sup> y 0,7 L.ha<sup>-1</sup>. Aplicando el producto en tres momentos, a inicio de la floración, 20 días después de la primera y la tercera a inicio de cosecha. El incremento en % en orden creciente de las dosis de Fitomas aplicadas, se reportan para cada indicador evaluado en Altura del tallo (crece 6,7%, 7,8%, 8,7%). Diámetro del tallo (crece 13%, 13%, 22%). Diámetro de los frutos (crece 13%, 42%, 64%). Número de frutos/planta (crece 23%, 41%, 57%). Peso de los frutos (crece 8,5%, 58,5%, 61%). Rendimientos (crece 32%, 123%, 153%). Duración del ciclo (disminuye 2,5%, 7%, 13%).

Otros autores como Hernández, (2007), reporta incremento del desarrollo foliar y del tamaño de los frutos, mejor cuajado de estos y aumento de la resistencia a *Alternaria*. Con el uso de Fitomas- E se acorta el ciclo vegetativo en el cultivo del tomate dando la posibilidad de hacer un uso más eficiente del área en el año, cosa esta que se cuantificó por primera vez. Se pudo comprobar que con la aplicación de Fitomas-E se mejoraron las condiciones del suelo, permitiendo obtener rendimientos aceptables en el cultivo y una mejoría considerable en la calidad de la cosecha.

En sistemas convencionales Faustino (2006), estudió el efecto del Fitomas- E sobre la fructificación en plantas de 30 días de trasplantadas con aplicaciones foliares a dosis de 1L.ha<sup>-1</sup> y una dilución de 1:200, el único factor propuesto para evaluar fue el rendimiento en número de fruto. El cultivo se vio limitado en su floración y fructificación por las altas temperaturas cuyo promedio era superior a los 25°C. Esta limitación se ha reportado en la literatura en la que se señala que por encima de 25 °C y por debajo de 12 °C la fecundación es defectuosa o nula y que las variaciones sensibles de temperatura y escasez ó exceso de humedad pueden determinar trastornos de consideración en la floración y la fructificación del tomate. Bajo estas condiciones se llevó a cabo el experimento donde el tratamiento con Fitomas-E alcanzó un promedio de 40,55 frutos/planta mientras que el promedio del testigo fue 27,25 frutos/planta.

Según Arozarena (2005), en un estudio realizado en el INIFAT sobre la influencia de los fitoestimulantes Vitazime y Fitomas-E en el desarrollo del tomate en siembra de

primavera en casa de cultivo con diversas variantes nutrimentales. Con fertilización convencional y encontró que tanto la altura de las plantas como el número de flores, el rendimiento y la cantidad de frutos con calidad superior aumentaban significativamente con el incremento de la dosis de fertilizante. La asociación del fertilizante con cualquiera de los fitoestimulantes daba los mejores resultados y, particularmente la cantidad de frutos de calidad superior.

Según López y Vera, 2003, estudió la influencia del Fitomas-E sobre pepino en las condiciones de organopónico. Los resultados ponen de manifiesto que este bioproducto actúa positivamente en cualquier dosis aunque, en el caso del pepino,  $0,2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  es la dosis mejor. Así tenemos que el área foliar crece 11% para la dosis de  $0,2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; 0,4% para la de  $0,4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  y 1% para la dosis de  $0,7 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ . El largo de la guía o tallo en cm. crece 43%; 36% y 52%, valores estos con diferencias significativas con respecto al testigo pero no diferentes entre sí. Con respecto al número de flores masculinas los resultados son de tendencia similar: crece 48%, 43% y 14% respectivamente. Al igual que en los indicadores anteriores todas las cifras son significativas con respecto al testigo pero no difieren entre sí. Las flores femeninas se incrementan 57%, 38% y 51% para las mismas dosis con igual significación que anteriormente. Finalmente el rendimiento resulta incrementado en los siguientes valores: 46%, 26% y 29% para las dosis consideradas.

### **1.8.3. Digestato.**

Uno de los mayores atractivos de la digestión anaerobia es la producción de biogás, pero no es el único. Sobresale también el digestato, el lodo resultante de las plantas de digestión, que se caracteriza por una elevada concentración de nutrientes y materia orgánica. De ahí que su uso como fertilizante sea tan atractivo.

La producción de biogás mediante codigestión anaerobia de residuos agroalimentarios genera unos digestatos cuya riqueza en materia orgánica y elementos nutritivos debe ser aprovechada. La forma más sencilla e inmediata de valorización de cualquier residuo orgánico es la aplicación directa del mismo al suelo agrícola, pero debe de existir una evaluación previa del valor fertilizante de estos materiales y sus efectos sobre las plantas

y el suelo. El aporte de los digestatos puede reducir costes en los cultivos, debido al ahorro en fertilizantes minerales, cuyo precio se ha elevado muy considerablemente en los últimos tiempos. Además, la menor producción de fertilizantes minerales de síntesis puede ayudar a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La composición del lodo anaeróbico en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987). El lodo anaeróbico sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990). Este puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno (Day, 1987). De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha<sup>-1</sup> de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. El lodo anaeróbico no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos

### **1.8.3.1 Propiedades del digestato, nutrientes y sustancias que proporcionan valor**

Las propiedades y constituyentes del digestato se determinan esencialmente por los materiales utilizados para la digestión anaeróbica así como por el proceso de digestión mismo. Las plantas de biogás agrícola en Alemania usan principalmente lodo líquido de ganado y cerdos, bosta de ganado y cerdos y guano de aves de engorde de aves. Es menos común el uso de fertilizante agrícola proveniente de granjas de gallinas ponedoras debido a los altos concentrados de amoníaco y a los residuos de la alimentación suplementaria con calcio. Debido a las reglas sobre remuneración estipuladas en la Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG), sólo algunos operadores de plantas continúan concentrándose exclusivamente en el uso de cultivos energéticos. No obstante, se debe mencionar los efectos que se conocen y valoran desde hace tiempo de la digestión del fertilizante agrícola sobre las propiedades del digestato:

- menores emisiones de olores por la degradación de compuestos orgánicos volátiles;

- mejor eficiencia del nitrógeno en el corto plazo a través de una mayor concentración de nitrógeno de acción rápida;
- muerte o desactivación de semillas de hierbas y gérmenes (patógenos humanos, zoopatógenos y fitopatógenos).

La tecnología de digestión anaerobia es uno de los procedimientos biotecnológicos que existen para el tratamiento de residuales orgánicos, como resultado de este sistema se obtienen dos residuales: uno líquido que puede ser vertido a un cuerpo receptor u otros usos según su composición y otro sólido (lodos), que generalmente se desecha sin valorar su posible aprovechamiento (Seoáñez, 2000) y Pérez, 2002).

Desde el punto de vista agrícola, con este proceso se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica el cual puede ser utilizado sin riesgo en la agricultura por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Soliva, 2001).

### **1.8.3.2 Las ventajas del digestato frente a los fertilizantes tradicionales**

Entre las ventajas que presenta el digestato respecto los fertilizantes convencionales destaca el hecho que son más aptos para el uso agrícola, generan menos olores, y presentan una mayor calidad higiénica al poseer características de insecticida y fungicida orgánico. Aunque aún hay más:

- 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 de cultivos de contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos• Resistencia al ataque de patógenos e insectos.
- Favorece la mayor lignificación de los tejidos.

Álvarez (2004), determinó que de la separación sólido a líquido efectuado por filtración al vacío dio en promedio 32,21 l de filtrado y 12,78 Kg de residuo sólido. Los resultados determinados muestran que el digestato retiene el N, P y K. La composición es: nitrógeno 0,10%, fósforo 0,010%, potasio 0,063% correspondiente al filtrado. En cuanto al residuo sólido: nitrógeno 0,31%, fósforo 0,091% y potasio 0,072% y en ambos casos pH de 7,1.

Este mismo autor plantea que el digestato de las plantas de biogás, es un fango meta estabilizado y rico en nutrientes, este producto es un abono más rico en nitrógeno que el procedente del compost tradicional, lográndose un aumento de nitrógeno en un 120% y de fósforo de acción rápida en un 150%.

En el capítulo se hace referencia al desarrollo del cultivo del tomate en Cuba y el mundo, es la hortaliza que más se consume y su centro de origen es americano principalmente en los países de (Chile, Perú y Ecuador). En Cuba constituye la hortaliza de mayor importancia, teniendo en cuenta el hábito de consumo se puede producir en dos sistemas de cultivo, cultivo protegidos y cultivos en campos abiertos, con diferencias en la distribución final, el primero para consumo y el segundo que toma las dos direcciones el consumo y la industria, la producción de tomate en los climas subtropicales húmedos puede ser afectada por las fuertes precipitaciones durante la época lluviosa; alta humedad del aire, las altas temperaturas y la fertilización, esta última puede ser química u orgánica, la primera es la más utilizada, pero se ha afectado por los incrementos de los precios a escala internacional con repercusión nacional y la segunda menos utilizada y con amplio campo por desarrollar, en Cuba el producto que más se utiliza es el Fitomas-E un bionutriente obtenido a partir de la industria azucarera y como alternativa se está implementando los microorganismos eficientes una tecnología iniciada en Japón y difundida hacia otros países e introducida al país a través de la Estación de Pastos y Forrajes de Indio Hatuey, bioproducto con buenos resultados sobre otros sistemas de

producción agrícola y puede ser fácilmente desarrollado por los agricultores y el digestato es un producto resultante de la implementación de los digestores para producir Biogás, tecnología que realiza un uso eficiente de la energía y minimiza la contaminación y por la composición de este bioproducto puede introducirse en la producción del cultivo del tomate.

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Determinación de los posibles problemas que pudieran intervenir en el incremento productivo del cultivo del tomate.**

El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis y de esta forma se evita el error de buscar directamente las soluciones sin cuestionar a fondo cuales son las verdaderas causas. El método de estratificación implica construir el diagrama de Ishikawa yendo directamente a las causas potenciales del problema con la idea de atacar causas reales y no consecuencias o reflejos. Es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones y para desarrollar un plan de recolección de datos. Se debe utilizar cuando se pueda contestar “sí” a una o las dos preguntas siguientes: ¿Es necesario identificar las causas principales de un problema? o ¿Existen ideas y/u opiniones sobre las causas de un problema?

### **2.2. Metodología de desarrollo de la herramienta del Método de Experto.**

#### **2.2.1 Proceso de selección de los expertos**

Se siguió la metodología propuesta por Hurtado de Mendoza (2003). Se confeccionó un listado inicial de 15 personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a tratar. A partir de una entrevista a estas 15 personas, a las cuales se les brindó igual nivel de información sobre el problema a tratar en este trabajo, se realizó una medición cuantitativa de cada uno de los criterios emitidos, los cuales se agruparon en grupo de utilidad o importancia relativa.

Posteriormente se calculó el Coeficiente de Conocimiento o Información ( $K_c$ ), a través de la fórmula siguiente:

$$K_c = n(0,1)$$

Donde.  $K_c$ : coeficiente de conocimiento o información;  $n$ : rango seleccionado por el experto.

Se determinó el Coeficiente de Argumentación ( $K_a$ ) de cada experto por la fórmula:

$$K_a = n_i = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n)$$

Donde.  $K_a$ : coeficiente de argumentación;  $n_i$ : valor correspondiente a la fuente de argumentación.

Luego se determinó el valor del Coeficiente de Competencia ( $K$ ) para definir cuál experto fue más idóneo para analizar la problemática de este trabajo.

Este coeficiente ( $K$ ) se calculó por la expresión:

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a)$$

Donde.  $K$ : coeficiente de competencia;  $K_c$ : coeficiente de conocimiento;  $K_a$ : coeficiente de argumentación.

Posteriormente, se hizo la valoración siguiente:

0,8 <  $K$  < 1,0: indica Coeficiente de Competencia Alto

0,5 <  $K$  < 0,8: indica Coeficiente de Competencia Medio

$K$  < 0,5: indica Coeficiente de Competencia Bajo

Para determinar el número de expertos se utilizó la siguiente ecuación:

$$M = \frac{p(1-p)k}{l^2}$$

Donde  $M$ : cantidad necesaria de expertos,  $p$ : proporción estimada de errores de los expertos,  $l$ : nivel de precisión deseada en la estimación,  $k$ : constante asociada al nivel de confianza elegido la cual se determina por:

$$k = (Z_{\alpha/2})^2$$

Donde  $(Z_{\alpha/2})^2$ : percentil de la distribución Normal para  $(1-\alpha)$  cuyos valores se presentan en la siguiente tabla:

$(1-\alpha)$	$\alpha$	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$(Z_{\alpha/2})^2$
0,90	0,10	0,05	1,64	2,6896
0,95	0,05	0,025	1,96	3,8416
0,99	0,01	0,005	2,58	6,6564

## 2.2.2 Evaluación de la opinión de los expertos

De la opinión de los expertos se seleccionaron las principales causas que afectan la producción de cebolla, cuyo consenso entre los expertos para definir estas causas como las de mayor peso, fue determinado por el **Coefficiente de concordancia de Kendall**:

$$W = \frac{12 * \sum \Delta^2}{M^2 * (K^3 - K)}; 0 \leq W \leq 1$$

Donde  $W$ : coeficiente de concordancia de Kendall,  $M$ : número de expertos,  $K$ : número de deficiencias que se analizar para dar prioridad,  $\sum \Delta^2$ : suma de los cuadrados de las desviaciones del valor medio de los juicios emitidos por la siguiente expresión:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m R_{ij} - \tau$$

Donde  $\sum R_{ij}$ : suma de rangos asignados a cada deficiencia, según la escala establecida,  $\tau$ : rango teórico que se obtiene según la expresión:

$$\tau = \frac{1}{2} * M * (K+1)$$

## 2.3 Experimentación a escala de campo. Localización y características del suelo utilizado

La investigación se llevó a cabo en la finca de un productor de la CCS “Celia Sánchez” situada en la localidad de Banao, provincia Sancti Spíritus, el trasplante se realizó de forma manual durante los meses de enero a marzo del 2014 en un suelo pardo con

diferenciación de carbonato (Hernández *et al.*, 1999) y se plantó la variedad Rilia a una distancia de 90 cm de camellón por 35 cm entre plantas.

#### **2.4 Determinación de parámetros físico-químicos en el suelo utilizado y para caracterizar los abonos digestato y microorganismos eficientes**

Se realizó en el laboratorio de Biogás de la Universidad de Sancti Spíritus, se determinaron la materia seca, materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica, el K y Na por fotometría de llama,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  por complejometría,  $PO_4^{3-}$  por colorimetría, y concentración de nitrógeno amoniacal ( $NH_4-N$ ) según los Métodos Estándar (1995), con algunas adaptaciones para el laboratorio (Manual de Laboratorio de Biogás e Ingeniería Ambiental, 2010).

#### **2.5 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño de bloques al azar (Esquema) con siete tratamientos y tres repeticiones con parcelas de nueve metros cuadrados y un espacio entre bloques de un metro, para un área total de 0,069 ha.

Esquema del diseño experimental.

<b>R<sub>1</sub></b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T7</b>	<b>T6</b>
<b>R<sub>2</sub></b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>R<sub>3</sub></b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T3</b>	<b>T2</b>	<b>T1</b>

Dónde:

T1. Control (agua).

T2. Digestato 5%. Aplicaciones foliares semanales del bioproducto.

T3. Digestato 10%. Aplicaciones foliares semanales del bioproducto.

T4. Digestato 15%. Aplicaciones foliares semanales del bioproducto.

T5. Digestato 5% + Microorganismos eficientes 5%. Aplicaciones foliares semanales mezclando los dos bioproductos.

T6. Digestato 10% + Microorganismos eficientes 10%. Aplicaciones foliares semanales mezclando los dos bioproductos.

T7. Digestato 15% + Microorganismos eficientes 15%. Aplicaciones foliares semanales mezclando los dos bioproductos.

## **2.6 Aplicación del digestato y los ME. Indicadores evaluados.**

Primero se realizó la preparación del suelo, con las siguientes labores: rotura, cruce, mullido, surcado, contrasurcado y labor de surcado para la plantación. Se seleccionaron las plántulas a plantar en el área. Se mantuvo la humedad empleando el riego (superficial por surcos e infiltración). Además se realizaron labores de limpieza y arrope (manual) de las plantas durante la experimentación. Se realizaron siete aplicaciones de los abonos (de forma semanal), y se determinaron los principales indicadores productivos del cultivo del tomate para industria según Olivera, (2008) para distinguir los tratamientos evaluados en la investigación, los que se relacionan a continuación.

Altura de las plantas. Se midieron 30 plantas por tratamientos hasta el inicio de la cosecha.

Número de hojas. Se contaron todas las hojas de las 30 plantas por tratamientos en siete momentos después de la plantación del cultivo.

Numero de flores. Se contaron todas las flores de las 30 plantas por tratamientos en cuatro momentos.

Rendimiento agrícola y componentes. Se determinó el número de frutos por planta, el peso y el rendimiento del cultivo ( $t \cdot ha^{-1}$ ) al finalizar los experimentos, tomando cuatro cosechas del cultivo.

Peso de los frutos. Se pesaron los frutos cosechados de las 30 plantas observadas en los tratamientos en una pesa digital del tipo Sartorius con precisión 0.01 g.

**2.7 Análisis estadístico:** Los datos experimentales se le determinó la normalidad de la distribución de estos, si el nivel de “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) fueron procesados por análisis de varianza simple (ANOVA) para un diseño completamente aleatorizado y la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para un nivel de probabilidad del error del 5 %, utilizando el paquete estadístico SPSS versión 18. Si el nivel de “p” es significativo (esto

es,  $p > 0,05$ ) se aplicaron las pruebas no paramétricas, como el test de Kruskal-Wallis, además se determinó el coeficiente de variabilidad y el error estándar para las variables descritas.

## 2.8 Valoración económica.

La valoración de la factibilidad económica se realizó para una hectárea de cada uno de los tratamientos. 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 Y DISCUSION

### 3.1 Posibles problemas que intervienen en el incremento productivo del cultivo del tomate

En la figura 1 se muestra el diagrama causa-efecto de los principales problemas que determinan el bajo rendimiento del cultivo del tomate, para ello se diagnosticaron las principales causas primarias, las cuales derivan una serie de problemas y afectaciones que para el estudio se dieron a conocer como causas secundarias, las primeras están representadas por el no cumplimiento de las medidas tecnológicas establecidas para este sistema de cultivo y entre ellas se encuentran fertilización, distancia de plantación, trasplante, época de siembra, preparación del suelo y las plagas y enfermedades.

#### Diagrama causa efecto Fuente: Elaboración propia



Fig. 1 Diagrama de Ishikawa del tipo enumeración de causas.

### **3.2 Aplicación del método de expertos sobre el conocimiento de la utilización de los biofertilizantes en el cultivo del tomate**

Se muestra que el conocimiento de la utilización de los abonos orgánicos es bajo para las condiciones donde se desarrolló la investigación en campo, ya que provienen de un sistema de cultivo primario (cebolla) caracterizado por una cultura y tradición basado en altas aplicaciones de los fertilizantes y plaguicidas químicos. Según el criterio de los expertos seleccionados para validar la investigación mostró que la utilización de biofertilizantes en este cultivo constituye una gran importancia para la producción de esta hortaliza, ya que la práctica de la producción de la misma muestra una alta utilización de agroquímicos que perjudican la salud humana, principal propósito de obtención de este vegetal. La utilización del digestato en la producción del cultivo tomate bajo estas condiciones logró altas producciones de la hortaliza y validó la utilización de este bioproducto por el desarrollo de este cultivo, el cual no implica altos costos de producción, por lo que sustituye importaciones, es el resultado de una tecnología que puede ser aplicada por los mismos productores y no implica importación como los fertilizantes y plaguicidas químicos que cada año son más caro en el mercado internacional, además de incrementar los microorganismos en el suelo por la composición del mismo.

### **3.3 Composición físico-química y los abonos evaluados.**

La tabla 3.1 muestra el resultado de la composición química de los productos utilizados en el experimento, se observa las diferencias en los parámetros analizados que comprende la importancia de cada indicador, como positivo se puede señalar que el digestato presenta mayor concentración de  $\text{NH}_4$ , que los microorganismos eficientes comparado con el suelo utilizado como patrón en el experimento del laboratorio y existe una similitud entre los demás indicadores con respecto a los otros productos menos en el PH donde los microorganismos eficientes presentan un valor más bajo debido al método y forma de preparación y que en su composición no se desarrollen microorganismos patógenos.

Tabla 3.1. Resultados de la composición química de los productos utilizados en el experimento.

	%MS	%MV	%MF	pH	NH <sub>4</sub>	K	Na	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
<b>Suelo</b>	94,202	0,870	93,101	5,7	0,010	0,1	0,2	0,026		
<b>Digestato</b>	0,980	1,745	0,467	7,64	0,535	1,6	4,4	0,033		
<b>Digestato + ME 5%</b>	0,175	0,113	0,053	7,16	0,032	0,8	4,4	0,83	24,05	4,86
<b>Digestato + ME 10%</b>	0,35	0,23	0,11	7,34	0,057	1,6	3,9	1,50	40,08	14,58
<b>Digestato + ME 15%</b>	0,53	0,68	0,32	6,61	0,085	2,0	4,0	2,17	56,11	24,3

\*Leyenda. **%MS**. Porcentaje de materia seca. **%MV** Materia volátil. **%MF** Materia fija (ceniza). **pH**. Potencial hidrógeno. **NH<sub>4</sub>**. Amonio **K**. Potasio. **Na**. Sodio. **P**. Fósforo. **ME**. Microorganismos Eficientes

### 3.4 Efecto de la aplicación del digestato a plantas de tomate a escala campo. Estudio combinado con microorganismos eficientes.

Al analizar la tabla 3.2 se observa que antes del inicio de las aplicaciones de las variantes utilizadas no existían diferencias significativas en las parcelas donde se aplicarían las variantes utilizadas y su aprecia una pequeña homogeneidad en cuanto a la altura de las plantas y el promedio de hojas inicial por plantas, aunque en las parcelas donde se ubicó el control los valores medios son superiores al resto de estas para los demás tratamientos.

Se muestran los valores del (coeficiente de variación) y el error experimental como componente aleatorio y se determinó que no existen diferencias significativas entre las variantes estudiadas a una ( $p \leq 0,05$ ). El coeficiente de variabilidad para la altura promedio de las plantas fue 9,02% y 14,92 %, corroborando lo planteado por Fuentes *et al.*, (1999), quienes plantearon que en condiciones experimentales de campo debe ser inferior a 20 %, para que el experimento sea confiable y permita eliminar la dimensionalidad de las variables y tener en cuenta la proporción existente entre medias y desviación típica de una forma adecuada y confiable.

Tabla 3.2. Resultados de la altura promedio y la cantidad de hojas de las plantas ante del inicio de las aplicaciones, cultivar Rilia.

Tratamientos	Altura promedio del tallo	Promedio de hojas
Control	11,03 <sup>a</sup>	3,27 <sup>a</sup>
Digestato 5%	10,32 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>
Digestato 10%	10,44 <sup>a</sup>	2,87 <sup>a</sup>
Digestato 15%	10,18 <sup>a</sup>	3,17 <sup>a</sup>
Digestato 5% + ME 5%	10,23 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>
Digestato 10% + ME 10%	10,05 <sup>a</sup>	2,63 <sup>a</sup>
Digestato 15% + ME 15%	10,13 <sup>a</sup>	2,73 <sup>a</sup>
CV (%)	9,02	14,92
ES	0,0644	0,0518
*Letras comunes en la misma columna no existen diferencias significativas según Duncan ( $p \leq 0,005$ )		
Leyenda. CV. Coeficiente de variación. ES. Error estándar.		

En la tabla 3.3 se muestra el comportamiento de los tratamientos en la altura promedio de las plantas en las evaluaciones realizadas durante el ciclo de producción del cultivo donde hubo diferencias significativas entre las variantes aplicadas con respecto al control (agua) en las diferentes evaluaciones, al final todas los tratamientos superaron al control en más de siete cm, con destaque para los tratamientos donde se aplicó el digestato al cinco por ciento y la mezcla del digestato al 15% con microorganismos eficientes al 15%.

Por su parte López *et al*, (2007), llevaron a cabo un estudio en un huerto intensivo con la variedad de tomate Amalia y la utilización de diferentes concentraciones del bionutriente Fitomas-E y obtuvieron un incremento en la altura de las plantas con respecto al control sin aplicación.

También López *et al*, 2003, estudiaron el efecto del tres concentraciones de Fitomas-E en tomate en la variedad Aro 8484 de procedencia israelí, en un organopónico en la provincia de Santiago de Cuba y obtuvieron que a medida que incrementaron las concentraciones, la altura del tallo de las plantas creció 6,7%; 7,8%; 8,7% con respecto al control.

Tabla 3.3. Comportamiento de los tratamientos en la altura promedio de las plantas de tomate en las evaluaciones realizadas en el cultivar Rilia.

Tratamientos	Altura promedio de las plantas						
	Número de evaluaciones						
	1	2	3	4	5	6	7
Control	15,20 <sup>ab</sup>	30,51 <sup>d</sup>	40,31 <sup>d</sup>	48,25 <sup>c</sup>	57,31 <sup>c</sup>	63,79 <sup>b</sup>	64,45 <sup>b</sup>
Digestato 5%	15,32 <sup>a</sup>	32,60 <sup>c</sup>	43,22 <sup>c</sup>	55,95 <sup>ab</sup>	64,09 <sup>ab</sup>	71,94 <sup>a</sup>	72,46 <sup>a</sup>
Digestato 10%	14,53 <sup>bc</sup>	41,00 <sup>a</sup>	49,80 <sup>a</sup>	57,39 <sup>a</sup>	64,69 <sup>ab</sup>	70,94 <sup>a</sup>	71,38 <sup>a</sup>
Digestato 15%	14,39 <sup>c</sup>	40,14 <sup>a</sup>	48,27 <sup>ab</sup>	57,36 <sup>a</sup>	64,29 <sup>ab</sup>	70,55 <sup>a</sup>	71,26 <sup>a</sup>
Digestato 5% + ME 5%	14,68 <sup>abc</sup>	37,92 <sup>b</sup>	46,27 <sup>b</sup>	54,37 <sup>b</sup>	62,83 <sup>b</sup>	69,43 <sup>a</sup>	71,18 <sup>a</sup>
Digestato 10% + ME 10%	15,17 <sup>ab</sup>	39,21 <sup>ab</sup>	47,88 <sup>ab</sup>	57,52 <sup>a</sup>	65,93 <sup>a</sup>	71,38 <sup>a</sup>	71,88 <sup>a</sup>
Digestato 15% + ME 15%	14,81 <sup>abc</sup>	39,40 <sup>ab</sup>	47,17 <sup>b</sup>	57,41 <sup>a</sup>	66,79 <sup>a</sup>	72,35 <sup>a</sup>	72,91 <sup>a</sup>
CV (%)	8,41	13,90	10,78	10,92	9,45	8,36	8,08
ES	0,0863	0,3568	0,3432	0,4187	0,4154	0,4048	0,39,50
Leyenda. CV. Coeficiente de variación. ES. Error estándar.							

El número de hojas por plantas es muy importante porque incrementa la actividad respiratoria de las plantas, los resultados alcanzados en el experimento (Tabla 3.4) se muestran las diferencias significativas entre las variantes utilizadas en las diferentes evaluaciones con respecto al control, los tratamientos donde se aplicaron digestato al cinco por ciento (5%), digestato 10% y digestato al 15% mezclado con microorganismos eficientes al 15% alcanzaron las medias más altas con valores de 18,97, 18,12y 18,43 respectivamente.

Resultados obtenidos por Hernández, (2007), demostraron un incremento del desarrollo foliar con la utilización de Fitomas-E en el cultivo del tomate con respecto al control absoluto.

Tabla 3.4. Efecto de los tratamientos en el número de hojas promedio en plantas de tomate en las evaluaciones realizadas en el cultivar Rilia.

Tratamientos	Número de hojas promedio por plantas						
	Evaluaciones.						
	1	2	3	4	5	6	7
Control	4,90 <sup>c</sup>	7,87 <sup>d</sup>	12,67 <sup>c</sup>	14,33 <sup>b</sup>	16,30 <sup>b</sup>	17,47 <sup>b</sup>	17,50 <sup>b</sup>
Digestato 5%	4,70 <sup>c</sup>	8,37 <sup>cd</sup>	13,37 <sup>abc</sup>	15,93 <sup>a</sup>	17,90 <sup>a</sup>	18,97 <sup>a</sup>	18,97 <sup>a</sup>
Digestato 10%	5,40 <sup>b</sup>	10,60 <sup>a</sup>	14,33 <sup>ab</sup>	15,73 <sup>a</sup>	17,10 <sup>a</sup>	18,10 <sup>a</sup>	18,12 <sup>a</sup>
Digestato 15%	5,53 <sup>ab</sup>	9,03 <sup>cd</sup>	13,10 <sup>abc</sup>	15,03 <sup>a</sup>	16,86 <sup>ab</sup>	17,53 <sup>b</sup>	17,34 <sup>b</sup>
Digestato 5% + ME 5%	5,87 <sup>a</sup>	10,07 <sup>ab</sup>	13,47 <sup>abc</sup>	15,13 <sup>a</sup>	16,40 <sup>b</sup>	17,67 <sup>b</sup>	17,69 <sup>b</sup>
Digestato 10% + ME 10%	5,63 <sup>ab</sup>	9,33 <sup>abc</sup>	13,47 <sup>abc</sup>	15,33 <sup>a</sup>	16,43 <sup>b</sup>	17,50 <sup>b</sup>	17,37 <sup>b</sup>
Digestato 15% + ME 15%	5,96 <sup>a</sup>	10,43 <sup>ab</sup>	14,40 <sup>a</sup>	15,93 <sup>a</sup>	17,50 <sup>a</sup>	18,40 <sup>a</sup>	18,43 <sup>a</sup>
<b>CV (%)</b>	17,12	24,50	16,46	19,77	19,79	18,47	18,39
<b>ES</b>	0,063	0,166	0,153	0,213	0,233	0,230	0,229
Leyenda. CV. Coeficiente de variación. ES. Error estándar.							

Al analizar la tabla 3.5 se observan las diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al promedio de flores por plantas en las cuatro evaluaciones realizadas, se observa un incremento en este indicador con la aplicación de las diferentes concentraciones donde todas aumentaron este indicador con respecto al control. Resultados similares fueron obtenidos por López *et al.*, (2007), quienes llevaron a cabo un estudio en un huerto intensivo con la variedad de tomate Amalia y la utilización de diferentes concentraciones del biofertilizante Fitomas-E y obtuvieron un incremento en la cantidad de racimos florales por plantas con respecto al control sin aplicación.

Resultados obtenidos por Hernández, (2007), demostraron un incremento de la cantidad de flores promedio por plantas con la utilización de Fitomas-E en el cultivo del tomate con respecto al control absoluto.

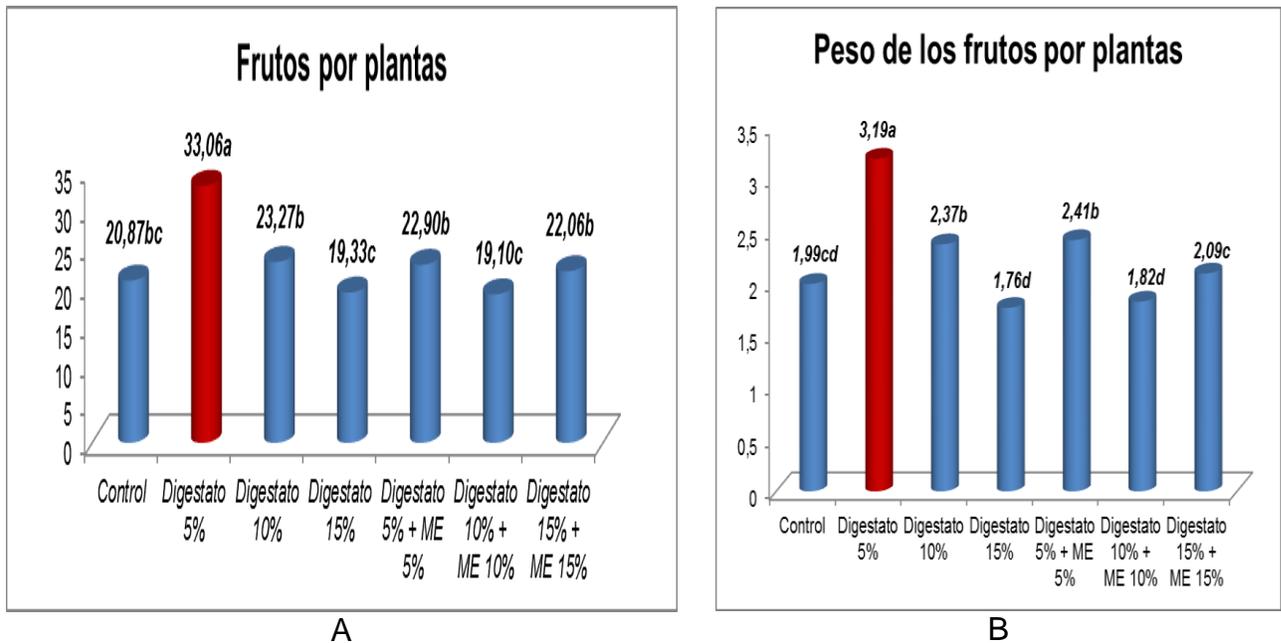
Tabla 3.5. Comportamiento de los tratamientos en el promedio de flores por plantas en las evaluaciones realizadas en el cultivar Rilia.

Tratamientos	Promedio de flores por plantas			
	Número de evaluaciones.			
	1	2	3	4
Control	5,93 <sup>ab</sup>	10,37 <sup>b</sup>	15,9 <sup>b</sup>	7,73 <sup>b</sup>
Digestato 5%	6,06 <sup>a</sup>	12,83 <sup>ab</sup>	20,70 <sup>a</sup>	6,13 <sup>b</sup>
Digestato 10%	5,20 <sup>ab</sup>	12,57 <sup>ab</sup>	18,83 <sup>a</sup>	8,17 <sup>b</sup>
Digestato 15%	5,10 <sup>ab</sup>	12,73 <sup>ab</sup>	21,27 <sup>a</sup>	12,33 <sup>a</sup>
Digestato 5% + ME 5%	5,23 <sup>a</sup>	11,37 <sup>b</sup>	19,43 <sup>a</sup>	13,57 <sup>a</sup>
Digestato 10% + ME 10%	4,73 <sup>b</sup>	10,83 <sup>b</sup>	19,43 <sup>a</sup>	12,10 <sup>a</sup>
Digestato 15% + ME 15%	4,53 <sup>b</sup>	14,93 <sup>a</sup>	20,37 <sup>a</sup>	13,33 <sup>a</sup>
<b>CV (%)</b>	18,09	18,92	24,74	21,98
<b>ES</b>	0,213	0,328	0,333	0,306

Legenda. CV. Coeficiente de variación. ES. Error estándar.

Uno de los indicadores más importante es la producción del cultivo del tomate es la cantidad frutos por plantas, es un indicador directo del rendimiento del cultivo, en la figura 3.2, se muestra la producción de cada una de las variantes en las diferentes evaluaciones realizadas con diferencias estadísticas entre estas y de estas con el control, la mejor variante fue el digestato al cinco por ciento (5%) con una media de 33,06 frutos por plantas la cual superó al control en más de 12 frutos, el tratamiento donde se aplicó el digestato al 10 % alcanzó una media superior al control en más de dos frutos promedios por plantas, donde se aplicaron el digestato mezclado con microorganismos eficientes al cinco y 15 % también superaron al control y los tratamientos donde se utilizó el digestato al 15% y este al 10 % mezclado con microorganismos eficientes al 10% las medias de producción de frutos por plantas fueron inferiores al control.

En sistemas convencionales Faustino (2006), estudió el efecto del Fitomas-E sobre la fructificación en plantas trasplantadas y obtuvo un promedio superior (40,55 frutos por plantas) en la variante donde aplicó este biofertilizante comparado con el control (27,25 frutos por plantas).



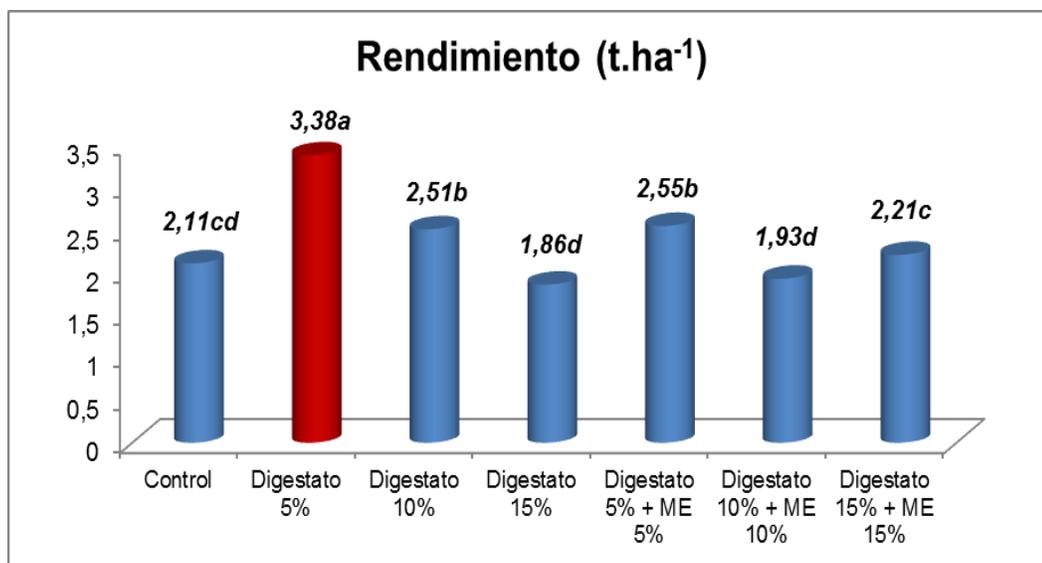
**Figura 2.** Comportamiento de los tratamientos en el peso promedio de los frutos y la cantidad de frutos por plantas en el cultivo del tomate, cultivar Rilia. A. Peso promedio de los frutos. B. Promedio de frutos por plantas.

Al analizar la figura 3, se observa las diferencias significativas entre los tratamientos evaluados donde la mejor variante fue el digestato al cinco por ciento que logró superar al control en un 48%, los tratamientos donde se aplicaron el digestato 10% y este mezclado con microorganismos eficientes a la misma concentración (digestato 5%+ME 5%) alcanzaron un 16% superior del rendimiento comparado con el control respectivamente, el tratamiento con digestato 15% + ME 15% supera en un cinco por ciento al control y cuando se aplicó el digestato al 15% y este mezclado con microorganismos eficientes al 10% la media del rendimiento fue inferior al control.

Por su parte López *et al*, 2003, estudiaron el efecto de tres concentraciones de Fitomas-E en tomate en la variedad Aro 8484 de procedencia israelí, en un organopónico en la provincia de Santiago de Cuba y obtuvieron que a medida que incrementaron las concentraciones, el rendimiento creció en 32%; 123%; 153% con respecto al control.

Negrín y Jiménez (2012) obtuvieron entre los tratamientos en estudio, la mayor aplicación de biosólido ( $9 \text{ t.ha}^{-1}$ ) presentó el mayor rendimiento ( $2,40 \text{ t.ha}^{-1}$ ), lo que indicó que los biosólidos empleados son residuos ricos en nutrientes esenciales para las plantas (N, P), estos mismos autores señalan que la digestión anaeróbica degrada los componentes complejos a formas moleculares más simples como  $\text{NH}_4 + \text{NO}_3^-$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  facilitando la asimilación más efectiva de estos nutrientes por el sistema radicular de las plantas, favoreciendo un aumento notable en el rendimiento final de la cosecha.

Negrín y Alioska, (2010) obtuvieron una relación proporcional entre el aumento de las dosis del lodo anaerobio obtenido de residuos porcino en cultivo del boniato.



**Figura 3.** Efecto de los tratamientos en el rendimiento ( $\text{t.ha}^{-1}$ ) en el cultivo del tomate, cultivar Rilia.

Al analizar la tabla 3.6 se observan las ganancias y el costo por peso de los tratamientos donde hubo diferencias entre las variantes aplicadas en el experimento teniendo en cuenta el precio de la tonelada de la misma, las mayores ganancias en este cultivo bajo estas condiciones se producen cuando se utiliza el digestato al cinco por ciento con 93 1208,08 pesos por hectáreas, con ganancias de 63 421,64 y 64 856,42 pesos por hectáreas las variantes donde se utilizó digestato 10% y digestato 5% mezclado con microorganismos eficientes al 5% respectivamente, también lograron ganancias superiores al control los tratamientos donde se aplicaron el digestato 5% mezclado con

microorganismos eficientes al 10% y el digestato mezclado con microorganismos eficientes al 15% con valores medios respectivos de 49 660,81 y 53 280,37 pesos por hectárea y cuando se utilizó el digestato al 15% las ganancias fueron menores que la del control con 41 313,01 pesos por hectáreas.

En cuanto a los costos por pesos la mejor variante fue cuando se aplicó el digestato 5% que para producir un peso necesita emplear 0,19 centavos, las variantes donde se utilizaron el digestato 10% y este mezclado con microorganismos eficientes al 5% lograron costos por peso de 0,26, con costos de 0,30 y 0,31 los tratamientos en los cuales se aplicaron digestato 10% + ME 10% y digestato 15% mezclado con microorganismos eficientes al 15% y cuando se aplicó digestato al 15% el costo por peso fue superior al control con 0,35 centavos por peso.

Tabla 3.6. Resultados de las ganancias y costos por peso de los tratamientos en el cultivo del tomate, cultivar Rilia.

<b>Tratamientos</b>	<b>Valor de la Producción (pesos/ha)</b>	<b>Ganancias (pesos/ha)</b>	<b>Costos por peso (centavos/peso)</b>
Control	6 629,33	4 385,65	0,34
Digestato 5%	11 556,49	9 312,81	0,19
Digestato 10%	8 585,84	6 342,16	0,26
Digestato 15%	6 374,98	4 131,30	0,35
Digestato 5% + ME 5%	8 729,32	6 485,64	0,26
Digestato 10% + ME 10%	7 209,76	4 966,08	0,31
Digestato 15% + ME 15%	7 571,72	5 328,04	0,30

## CONCLUSIONES

- El análisis del documento y los criterios de los expertos mostraron que el bajo rendimiento del cultivo del tomate en Cuba está dado por las plagas y enfermedades, el mal manejo en la fertilización y el trasplante de las plántulas. Esto hace que la fertilización orgánica sea una alternativa atractiva y necesaria para este cultivo.
- La caracterización del digestato y ME contribuyeron al conocimiento de su composición físico-química del bioproducto para determinar la dosis a aplicar en este cultivo en relación a los requerimientos del cultivo. De esta manera se fundamenta su efecto positivo como mejoradores del suelo y bioestimulador del cultivo del tomate.
- La aplicación del digestato y del ME en el cultivo del tomate incrementó los indicadores productivos evaluados a escala de laboratorio como: el número de hojas, la altura de la planta, el número de raíces y longitud de estas y a escala de campo incrementó el rendimiento de cosecha medido en base a la cantidad de frutos por plantas, y su peso. Esto tributó a un incremento en las ganancias económicas de la cosecha.
- El análisis de los criterios de los expertos y el análisis económico realizado, validaron el efecto agronómico positivo del uso de estos abonos orgánicos en la producción de tomate (cultivar Rilia). La aplicación a escala de campo constituyó un ejemplo de práctica agroecológica.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Profundizar los estudios de patogenicidad del digestato para ser utilizado como abono orgánico según las Normas de Bioseguridad (ISO 14025).
- ❖ Generalizar los resultados de la aplicación foliar del digestato en los productores de tomate de Banao y la provincia de Sancti Spíritus.
- ❖ Realizar estudios de este abonos orgánicos en aplicaciones al suelo (sólido) y/o combinadas con aplicaciones foliares en este cultivo y aplicarlos también en otros productos agrícolas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, K; Blanco, A; Samon, A; Villar, J. (2007). Influencia de un bioestimulante cubano en la obtención de posturas de café. XV Congreso Científico INCA. 7-10 de noviembre 2006. San José de Las Lajas. La Habana.
- Álvarez, A. (2004). Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos Iideproq. Pág. 13, 64.
- Arozarena, N. (2005). Influencia del Fitomas en el Cultivo del Tomate bajo condiciones de Cultivo Protegido. La Habana: INIFAT.
- Basaure, P. (2008). Manual de Lombricultura. [Consultado el 21 de enero del 2009]. Disponible en: <<http://www.manualde lombricultura.com/foro/mensajes/13040.html>>.
- Casanova, A, Gómez, O, Cardoza, H, Hernández, J.C, y León, C. (2000). Guía técnica para la producción de tomate. IIHLD. Ministerio de la Agricultura, La Habana. Folleto: 36, En prensa.
- Casanova, A.; O. Gómez; T. Depestre; A. Igarza; León; R. Santos; M. Chailloux; J.C. Hernández y F.R. Pupo. (1999). Guía Técnica para la producción Protegida de Hortalizas en casa de cultivo tropical con efecto sombrilla. La Habana, 55p.
- Castilla N. (2003). Estructuras y equipamientos de invernaderos. En: J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz-Ramos (Eds) Memoria del Curso internacional de producción de hortalizas en invernadero. INIFAP. México, p 1-11.
- Chung, C. H. and R. Baker (1986): "Increased growth plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma harzianum*". Plant Disease 70: 145-148.
- Costales D.; Martínez, L. y Núñez, M. (2007). Efecto del tratamiento de semillas con una mezcla de oligogalacturónidos sobre el crecimiento de plantas de tomate. Cultivos Tropicales, vol. 28, no.1, p. 85-91.
- Cupull, S. R. ; C. C. Sánchez; C. Andreu.; María del C. Cupull y Pérez, N. C. (2000): "Efecto de *Trichoderma* y *Azotobacter* en el control de *Rhizoctonia solani* y la estimulación del crecimiento de posturas de cafetos". Revista de Fitopatología y Entomología XVII (66): 203-206.

- De Liñan, V. (2000). Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 655 p.
- Dhanwant, K. S. y K. K. Manindor. (1985) "Celulasas of *Trichoderma longibrachiatum* mutants". Acta Microbiológica Polónica. 34 (1): 33-38.
- Escobar, C. (2011). *Efectos de Trichoderma harzianum y Fitomas-E en la producción de posturas de tomate (Solanum lycopersicon L.)*. Trabajo de Diploma no publicado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez".
- FAOSTAD. (2007). Food and Agricultural commodities production: Top production Cuba . Actualización junio del 2009. [online] [Consultado: 5 de enero de 2010] disponible en <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>.
- FAOSTAT, (2003). Estadísticas superficie, producción y rendimiento mundial del tomate del 2002.
- Faustino, E. (2006). Contribución del Fitomas E a la sostenibilidad de la finca Asunción de la CCS "Nelson Fernández". Tesis de Diploma en opción al título de Ing. Agrónomo. Universidad Agraria de La Habana.
- Fuentes, Felicitá; Abreu, E.; Fernández, E. y Castellanos Magaly. (1999). Experimentación agrícola. 1ra edición. Editorial Félix Varela. El Vedado. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Gil, M, Rueda, P; Salgado, A. y Valera, A. (2005). Guía de uso de microorganismos eficaces EM en la Agricultura. Bogotá, Colombia: FUNDASES. (Fundación para el Sector Agrícola). Servicios impresiones Minuto de Dios.
- Hernández, J. Julio. (2007). Aspectos cualitativos evaluados por productores en la empresa de cultivos varios de Batabanó en algunos cultivos donde se aplicó Fitomas E. Informe al proyecto ramal del MINAZ 271.
- Higa, T. (1997). Making a world of difference through the technology of effective microorganisms (EM). EM Technologies, Inc; 8 p.

- Higa, T., and PARR, J. 1994. Beneficial y effective microorganism for a Sustainable Agriculture and environment. International Nature Farming Venter. Atami. Japan. 17 pp.
- Inisav (Instituto de investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova"). (2003). Manual para la Producción Protegida de Hortaliza, la Habana.
- López, R; Vera, G. Evaluación de diferentes dosis de Fitomas E en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus*) variedad SS-5. Universidad de Guantánamo 2003.
- López, R; Montano, R; Caminero, R; (2003). Aplicación de diferentes dosis de Fitomas E en el cultivo del tomate (*Lycopersicon sculentus Mill.*) variedad aro 8484 en condiciones de organopónico en la provincia de Santiago de Cuba. Universidad de Guantánamo.
- López, R; Montano, R; Lobaina, J; Montoya, A; Coll, O. (2007). Comportamiento de plantas hortícolas con diferentes dosis de Fitomas E en condiciones edafoclimáticas de Guantánamo.
- Maclaren, R. G.; Clucas, L. M.; Taylor, M. D. y Hendry, T. (2006). Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soil treated with metal-spiked sewage sludge. 1. Leaching of macronutrients. *Australian Journal of soil Research*, 41(3) 571-588.
- Maroto, J.V. (1992). Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundiprensa (1ra ed.) Madrid. 452 p.
- Maroto, J.V. (1992). Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundiprensa. Madrid: 452 p.
- Martínez, E.; Barrios, G.; Rovesti, L. y Santos, R.: Manejo integrado de plagas, manual práctico. 1ra ed. CNSV-GVC-Entrepueblos. Impreso Grup Bev. Tarragona, España, p 75-80. 2007.

- Mineiro, B.; González, N. L.; Expósito, I.; González, G. y Boycet, T. (2005). Uso de sustancias estimuladoras del desarrollo vegetal para una producción sostenible de tomate variedad "vita" (*Solanum lycopersicon L.*). [Consultado: 21 de junio del 2007]. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos32/estimulacion-tomates/estimulacion-tomates.shtml>>.
- Montano, R. (2008). Fitomas E, bionutriente derivado de la industria azucarera. Composición, mecanismo de acción y evidencia experimental. Instituto cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICDCA). 35 p.
- Nápoles, M. (2007). Oligosacarinas en acción: Bradyfact, Pectimorf y derivados de quitosana. Informe Final Proyecto MES. La Habana: INCA.
- Negrín, A, y Alioska, L. (2010). Uso de lodos provenientes de la digestión anaerobia de los residuales pecuarios en el cultivo del boniato. *Centro Agrícola*, 37(3): 53-60.
- Negrín, A, y Jiménez, Yamilé. (2012). Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). *Cultivos Tropicales*, 33 (2) 13-19.
- Nuez, F.; S. Rosello y B. Pico. (1998). La conservación y recuperación de nuestro patrimonio hortícola. *Mejorar para conservar. Agrícola Vergel*. 194. -74-80 p.
- Olivera, D. (2008). Empleo de la biomasa vegetal como *cobertura muerta del suelo en cultivos hortícolas*. Trabajo de Diploma no publicado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Ortega, Y. (2007). Evaluación del efecto del LIPLANT en el cultivo del tomate var. Amalia. VII Encuentro de Agricultura Orgánica y Sostenible. La Habana: ACTAF.
- Pérez, J. L. (2002). Incremento del valor nutritivo de los lodos anaerobios porcinos para la alimentación de cerdos en crecimiento y ceba, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias, Universidad de La Habana, Cuba.

- Pérez, Nilda. (2006). Manejo ecológico de plagas. 1ra Ed. CEDAR (Centro de estudio de desarrollo Agrario y rural). Editorial Félix Varela. Ciudad de La Habana, Cuba. 210-213.
- Rodríguez, G. (2003). Comportamiento de cultivares de tomate adaptados al sistema de producción protegido. Tesis en opción al grado de Master en Genética Vegetal. Facultad de Biología, Universidad de La Habana.
- Rodríguez, V. y A. Blanco. (1992). Eficiencia del *Azotobacter chroococcum* en la producción de posturas de *Coffea arábica* L. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, RS.
- Ruiz, Josefa, Terry, Elein, Tejeda, Tamara y Díaz, María M. (2009). APLICACIÓN DE BIOPRODUCTOS A LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA DE TOMATE. *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 3, p. 60-64.
- Salazar, O. y F. González (1994). "Influencia de la aplicación del *Azotobacter* en la producción de 2 variedades de cebolla en épocas tempranas". *Agricultura Tropical* 15 (3): 661.
- Seoáñez, C. M. (2000). Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona. p. 120
- Soliva, M. (2001). Compostaje e ingestión de residuos orgánicos. *Estudios de Monografías* 21. Diputación de Barcelona, Área de Medio Ambiente, Barcelona, España, p. 72.
- Utria, E.; Inés, M.; Reynaldo, J. A.; Morales, D. y Goffe, Sandra. (2008). Los biosólidos de aguas residuales urbanas aplicados con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo, el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 29, (4) 5-11.
- Virdi, G. S. (1986): Studies on some coprophelorus fungi. M. Sc. Thesis Guru Nanak dev University Amritsav, India, *Acta microbiológica Polonica* 35 (1 y 2): 92-93.
- Yumar, J; (2008). Uso de una mezcla de dos bionutrientes Fitomas E y Biobras 16, como una alternativa ecológica para el cultivo de la cebolla en el Municipio "Guira de Melena". XVI Congreso del INCA, San José de las Lajas.

## **Anexos.**

Anexo 1. Manual de procedimientos del laboratorio de Biogás, Uniss.

# **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES DE BIOGÁS DELAUNISS.**

## **Análisis que se pueden realizar en el laboratorio de Biogás del CUSS**

1. Materia seca
2. Materia orgánica
3. pH
4. Alcalinidad Total (TAC)
5. Concentración de Ácidos Orgánicos Volátiles (FOS)
6. Concentración de Ácidos Volátiles por cromatografía gaseosa.
7. Determinación de Ácidos Grasos Volátiles en sólidos
8. Concentración de nitrógeno amoniacal total.
9. Concentración de nitrógeno Kjeldahl (nitrógeno total)
10. Contenido de Proteína total
11. Relación C/N
12. DQO
13. Espectrofotómetro de llama
14. Prueba batch
15. Prueba semicontinua

### **1. Materia seca (MS)**

#### **Procedimiento**

1. Verificar que la estufa este encendida y con la temperatura adecuada (110°C)
2. Poner la cápsula de porcelana vacía en la estufa a 110°C por espacio de 1 hora.
3. Enfriar la cápsula en la desecadora por espacio de 30 minutos.
4. Pesar la cápsula y anotar el valor del peso (pc).
5. Pesar en la cápsula una muestra fresca (2-5 g de muestra para el caso de sólidos y para el caso de sustratos líquidos o inóculos llenar cápsula), anotar el peso (pt<sub>inicial</sub>)
6. Poner la cápsula con la muestra en la estufa a 110°C por espacio de 24 horas.
7. Enfriar la capsula en la desecadora hasta temperatura ambiente por espacio de 1 hora aprox.
8. Pesar la capsula con la muestra seca y anotar el valor (pt<sub>final</sub>)

#### **Cálculo de la Materia Seca**

$\% MS = (\text{peso de la muestra seca}/\text{pesa de la muestra fresca}) \times 100$

$\% MS = \frac{(pt_{final} - pc)}{(pt_{inicial} - pc)} \times 100$

Pc                      peso cápsula

$pt_{inicial}$  peso cápsula+peso muestra fresca

$pt_{final}$  peso cápsula+peso muestra seca

## 2. **Materia orgánica (MO)**

### **Nota aclaratoria**

Para la realización de este análisis es necesario primero realizar el procedimiento de materia seca.

### **Procedimiento**

1. Poner la cápsula con muestra seca hasta 110 °C en la mufla.
2. Encender la mufla y verificar que la temperatura aumenta gradualmente hasta 550°C.
3. Mantener la muestra a 550°C por espacio de 4 horas.
4. Enfriar la cápsula en la desecadora hasta temperatura ambiente, aprox. 2 horas.
5. Pesar la cápsula con la muestra seca a 550°C y anotar el valor ( $pt_{final-550C}$ )

**Cálculo de la materia orgánica (MO)** % MO = [(pesa muestra seca a 110 °C – peso muestra seca en mufla a 550°C)/ peso muestra seca a 110°C] x 100

% MO= [( $pt_{final-110^{\circ}C}$ -pc) - ( $pt_{final-550^{\circ}C}$ -pc)] / ( $pt_{final-110^{\circ}C}$ -pc)] x 100

## 3. **Determinación de pH**

### **Instrucciones**

Verificar que el equipo esté calibrado, sino realizar el procedimiento calibración. Enjuagar siempre el electrodo con agua destilada antes de cada medición.

### **Procedimiento**

1. Para muestras no homogéneas (sustratos sólidos), pesar 10 g de muestra en un erlenmeyer de 300 ml.
2. Adicionar 100 ml de agua destilada y agitar a 150 rpm (= 0,60 Mot en el agitador magnético VS-C7) por espacio de 20 minutos.
3. Para muestras líquidas o inóculos se realiza la medición directamente.
4. Poner el electrodo en contacto con la muestra objeto de medición. Mover el electrodo en la solución hasta que la medida se estabiliza.
5. Medir la temperatura de la solución con un termómetro externo.
6. Presionar el botón de [°C] y cambiar con el botón de la temperatura [Temp] hasta que en el display del equipo aparezca la temperatura de la muestra.
7. Presione el botón de pH para ver la medida de pH ajustada a la temperatura de la muestra.

### **Mantenimiento**

3. Después de terminar la medición, enjuagar el electrodo con agua destilada y mantenerlo en el protector puesto, el cual debe contener una solución de 3,5M KCl.
4. Verificar periódicamente que el nivel de la solución (3,5M KCl) que aparece dentro del electrodo no esté por debajo de 2,5cm, tomando como referencia el tornillo verde que aparece en la parte superior del electrodo (ver figura p11 manual de instrucciones de medidor de pH).
5. Si el nivel de la solución está por debajo de 2,5cm, se debe llenar el electrodo con la solución (3,5 M KCl), con ayuda de una pipeta por el orificio que aparece al sacar el tornillo verde.

### **Rango de valores óptimos durante el control de un biodigestor o reactor**

6,8 < pH < 8,2

## 4. **Alcalinidad Total (TAC)**

## **Reactivos**

### a) **Solución de 0,1N ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Pone en un erlenmeyer 2,74 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (97%) y diluya hasta 1000 mL con agua destilada.

## **Procedimiento**

1. Llenar la bureta con solución de ácido sulfúrico (0,1N=0,05 mol/L)
2. Depositar 20 ml del efluente de un reactor o inóculo en un beacker de 250 ml.
3. Poner el beacker sobre el agitador y adicionar el imán en el beacker.
4. Hacer la valoración con el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) hasta alcanzar un pH de 5,00 (durante la valoración medir el pH continuamente).
5. Medir en la bureta (0,05 ml de precisión), los ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) consumido en la valoración.

## **Cálculo**

Capacidad tampón = TAC (mg CaCO<sub>3</sub>/L) = ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumido x 250

### **5. Concentración de Ácidos Orgánicos Volátiles (FOS)**

## **Procedimiento**

1. Continuar la valoración anterior (TAC) con el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) hasta alcanzar un valor de pH de 4,40 (durante la valoración medir continuamente el pH).
2. Medir en la bureta (0,05 ml de precisión) los ml de ácido sulfúrico consumidos o gastados.
3. Limpiar la cristalería utilizada recordando siempre extraer los imanes de la muestra.

## **Cálculo**

Ácidos grasos volátiles = FOS (mg CH<sub>3</sub>COOH/L) = ((A x 1,66) – 0,15) x 500

Dónde: A= cantidad en ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> agregado de pH 5 hasta pH 4,4

## **Valores óptimos y aplicación práctica de los resultados**

Alcalinidad total (TAC) > 10 000 mg/L

Relación Ácidos Orgánicos Volátiles/ Alcalinidad Total (FOS/TAC) < 0,4

- |         |   |
|---------|---|
| >0.6    | Dejar de alimentar el reactor.  |
| 0.5–0.6 | Disminuir la carga orgánica (kg MO/l.d) a alimentar al reactor.   |
| 0.4–0.5 | La carga orgánica del digestor es demasiado grande. Es necesario mantener un buen control del digestor          |
| 0.3–0.4 | La producción de biogás alcanza su máximo. Se debe mantener la alimentación de la biomasa a esa carga orgánica. |
| 0.2–0.3 | La alimentación es baja, se debe aumentar la carga orgánica   |
| <0.2    | La alimentación de biomasa es muy baja. Aumentar rápidamente la carga orgánica.                                 |

### **6. Determinación de concentración de ácidos grasos volátiles por cromatografía**

#### **Preparación de la muestra**

1. Poner duplicado 2 ml de muestra (efluente del digestor o inóculo) en un tubo de ensayo con tapa.
2. Adicionar 0,5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50%.
3. Adicionar 0,4 g de NaCl.
4. Adicionar 0,5 ml del estándar interno (ácido acrílico).
5. Adicionar 2 ml de dietiléter.

6. Tapar bien el tubo de ensayo.
7. Mezclar por espacio de 2 minutos con el equipo Vortex.
8. Centrifugar por espacio de 3 minutos a 3000 rpm.
9. Después de centrifugada, extraer de la muestra la capa superior de éter, con ayuda de una pipeta y depositarlo en un vial de cromatografía.
10. Tapar bien el vial con ayuda del tapador de viales.
11. Poner el vial en el cromatógrafo de gases para realizar la medición.

#### **7. Determinación de Ácidos Grasos Volátiles en sólidos**

1. Moler el sustrato sólido para garantizar la extracción de los ácidos.
2. Pesar 10 g de la muestra en un erlenmeyer.
3. Adicionar 50 ml de agua desmineralizada.
4. Ajustar el pH de la muestra agregando  $H_2SO_4$  (concentrado), por medio de una bureta, hasta alcanzar  $pH=2$ .
5. Colocar el erlenmeyer en el agitador magnético durante 1 hora.
6. Dejar la solución en reposo durante 30 minutos.
7. Tomar con ayuda de una pipeta 2 mL del sobrenadante para análisis posteriores con el cromatógrafo de gas, según el procedimiento de análisis para muestras líquidas.

#### **Observación**

Cuando se realiza el cálculo con una muestra que contiene 100% de materia seca, el resultado de concentración en ácidos grasos volátiles hay que afectarlo por el factor 1/5. Si la materia seca es diferente de 100% entonces hay que determinar por regla de 3 el factor por el cual hay que afectar la concentración en ácidos grasos volátiles.

#### **8. Concentración de nitrógeno amoniacal ( $NH_4-N$ )**

##### **Reactivos**

##### **a) NaOH 32%**

Pese 333,33 g de NaOH 96% y disuélvalos en agua destilada. Diluya a 1000 mL.

##### **b) NaOH 0,1 N**

Pese 4,16 g de NaOH 96% y disuélvalos en agua destilada. Diluya a 1000 mL.

##### **c) HCl 0,1 N**

Pese 9,86 g de HCl 37% y disuélvalos en agua destilada. Diluya a 1000 mL.

##### **Procedimiento**

1. Encender el equipo de destilación (Vapodest) y abrir la llave de agua.
2. Verificar que los frascos de reactivos (NaOH (3L) y  $H_2O$  destilada (5L)) tengan el volumen requerido de reactivos para comenzar el análisis.
3. Pipetear 40 ml de agua destilada en el tubo para análisis.
4. Ajustar en el equipo los siguientes parámetros:
5. Time (tiempo) en 4 minutos
6. Steam (vapor) en 10
7. Reagent (reactivo) en 5 equivale a 40ml
8. Poner en el equipo (Vapodest) un erlenmeyer en la posición donde se recogerá el destilado
9. Cuando aparezca la Luz verde en el indicador (Ready), presionar la tecla Run
10. La primera corrida en el equipo (Vapodest) se realiza siempre con agua destilada para limpiar el equipo
11. La segunda corrida se realiza con un blanco (solución de NaOH 32%)

12. Poner el tubo para análisis con 40 ml H<sub>2</sub>O destilada en el equipo.
13. Presionar la tecla Reagent y el equipo automáticamente deposita 40 ml de la solución de NaOH (=reagent) en el tubo de análisis.
14. Poner en el equipo (Vapodest) un erlenmeyer en la posición donde se recogerá el destilado y adicionarle 40 ml de HCl (0,1N) y 3 gotas de rojo de metilo.
15. Hacer una valoración del destilado recogido en el erlenmeyer con una solución de NaOH (0,1N) hasta que el color cambie de rojo a Amarillo.
16. Análisis de la muestra
17. Poner 5 g de muestra en el tubo de análisis.
18. Presionar la tecla Reagent y el equipo automáticamente deposita 40 ml de la solución de NaOH (=reagent) en el tubo de análisis.
19. Poner en el equipo (Vapodest) un erlenmeyer en la posición donde se recogerá el destilado y adicionarle 40 ml de HCl (0,1N) y 3 gotas de rojo de metilo.
20. Hacer una valoración del destilado recogido en el erlenmeyer con una solución de NaOH (0,1N) hasta que el color cambie de rojo a Amarillo.

### **Cálculos**

g NH<sub>4</sub>-N/kg muestra =  $\frac{((\text{ml NaOH gastado})_{\text{blanco}} - (\text{ml NaOH gastado})_{\text{muestra}}) \cdot \text{normalidad de HCl} \cdot \text{peso molar de N}}{\text{g muestra}}$   
 peso molar de N = 14 g/mol

### **Valor límite**

g NH<sub>4</sub>-N/kg muestra < 3

## **9. Concentración de nitrógeno kjeldahl N<sub>kjeldahl</sub>(nitrógeno total)**

### **Fundamentación del método**

El método se basa en tres pasos fundamentales:

- a) la muestra es digerida en ácido sulfúrico concentrado en la presencia de un catalizador, el cual contribuye a la conversión del nitrógeno amoniacal en iones de amonio,
- b) los iones amonio son convertidos en gas de amonio, calentado y destilado. El gas de amonio es llevado a una solución trampa donde se disuelve y se convierte una vez más en un ión amonio.
- c) finalmente se determina la cantidad de amoniaco que ha sido atrapada mediante valoración con una solución estándar y se realiza el cálculo.

### **Primer paso: digestión**

1. Pesar aproximadamente 3 g de la muestra que contiene la proteína, anotar el peso, y colocar la muestra en un frasco para digestión junto a 50 ml de agua destilada, 5 ml de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
2. Agregar 7 gramos de sulfato de potasio y un catalizador, generalmente cobre.
3. Llevar el tubo/frasco de digestión con la mezcla a un rotoevaporador utilizando un bloque de calentamiento (entre 370°C y 400°C).
4. Calentar la mezcla en el tubo/frasco hasta que pueda observarse un humo blanco, y continuar dando calor durante 60-90 minutos.
5. Enfriar el tubo/frasco.

### **Segundo paso: destilación**

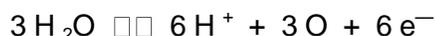
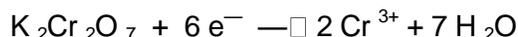
El propósito del siguiente paso, la destilación, es separar el amoníaco (es decir, el nitrógeno) de la mezcla digerida. Para ello debe tener en cuenta que se realiza antes de la destilación de la muestra digerida los procedimientos de limpieza y corrida del blanco en el Vapodest. (Según se describe en el método de determinación de la concentración de nitrógeno amoniacal.)

1. Pasar la muestra después de concluido el Primer paso (digestión) del frasco de digestión al tubo para análisis del equipo Vapodest.
2. Agregar 50 ml de agua destilada en el frasco de digestión y enjuagar para que no queden residuos de la digestión y pasar esta agua también al tubo para análisis.
3. Colocar el tubo de análisis en el equipo Vapodest.
4. Presionar la tecla Reagent y el equipo automáticamente deposita 40 ml de la solución de NaOH (=reagent) en el tubo de análisis.
5. Poner en el equipo (Vapodest) un erlenmeyer en la posición donde se recogerá el destilado y adicionarle 40 ml de HCl (0,1M) y 3 gotas de rojo de metilo.

### **Fundamento**

La demanda química de oxígeno (abreviado DQO), es una medida de la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada por un fuerte agente oxidante. La DQO es expresada como la cantidad de oxígeno que se corresponde con el consumo del agente oxidante. Muchos compuestos orgánicos son destruidos (oxidados) ,en una mezcla de ácido sulfúrico y dicromato de potasio.

Las semi - ecuaciones de oxidación - reducción son las siguientes :



El exceso de dicromato que queda entonces, después de la digestión, es medido por valoración con sulfato de amonio ferroso. La semi - ecuación de oxidación - reducción es la siguiente :



La oxidación no es completa y su producción varía con la composición química de la materia orgánica. El rendimiento es normalmente cerca del 90 %, o un poco más bajo cuando son utilizados reactivos diluidos.

Para oxidar algunos compuestos es utilizado un catalizador, en nuestro caso sulfato de plata. En altas concentraciones de cloruro dos cosas pueden ocurrir: 1) precipitación de cloruro de plata y 2) oxidación del ión cloruro a cloro molecular. Para evitar estas interferencias, puede ser adicionado el sulfato de mercurio con lo cual los iones de  $Hg^{2+}$  se combinan con los iones cloruro formando un complejo.

Este método es apropiado para aguas naturales, tales como lagos, embalses, ríos y arroyos. En el caso de aguas residuales puede utilizarse el método del reflujo abierto descrito en este folleto.

### **Aparatos**

- Frasco de cristal esterelizable con tapa de rosca de baquelita y junta de teflón de 125 mL.
- Autoclave u olla de presión.

- Buretas de 25 mL y de 50 mL.
- Cristalería común en un laboratorio

### **Reactivos**

#### **a) Bicromato de Potasio (0,025 eq/L)**

Pese 1,2259 g de bicromato de potasio ( secado a 100 °C). Disuélvalos en agua destilada o desionizada y dilúyalo hasta 1000 mL.

#### **b) Agente ácido**

Se disuelven 33,25 g de sulfato de plata en 2,5 L de ácido sulfúrico concentrado, aunque puede utilizarse esta relación con menos sulfúrico.

#### **c) Reactivo ácido mixto**

Se mezclan 1 parte de la solución de bicromato de potasio (0,025 eq/L) y 3 partes del agente ácido.

#### **d) Sulfato de Amonio - Ferroso ( sal de Mohr ) (0,01 eq/L)**

Se pesan 2 g de sulfato de amonio ferroso hexahidratado y se disuelven en una solución preparada mediante 10 mL de ácido sulfúrico concentrado diluido hasta 500 con agua desionizada o destilada. Esta solución se almacena en frío.

#### **e) Indicador de Hierro**

Disuelva 1,485 g de orto - fenantrolina monohidratada junto con 0,695 g de sulfato férrico heptahidratado en agua desionizada o destilada, diluya hasta 1000 mL. (Si Ud. posee sulfato férrico nonahidratado entonces utilice 0,743 g).

#### **f) Solución para valorar el Sulfato de Amonio Ferroso**

Mezcle en un erlenmeyer de 50 mL 2 mL de la solución de bicromato de potasio (0,025 eq/L), adiciónale 6 mL de ácido sulfúrico concentrado y 20 mL de agua desionizada.

#### **g) Valoración de la solución de Sulfato de Amonio Ferroso**

Valore de acuerdo con el método descrito en "Procedimiento". Repita la valoración 3 veces y utilice el promedio.

### **Cálculos**

$$\text{Concentracion.Sulfato.Amonio.Ferroso} = \frac{2 \times 0,025}{\text{mL.SulfatoAmonio.Ferroso}}$$

### **Procedimiento**

1. En frascos de 50 mL con tapa de rosca adicione 5,0 mL de la muestra y 10 mL de reactivo ácido mixto. Colóquelos en la autoclave por 1 hora a 120 °C a presión de 1,5 atm. Permita que la muestra se enfríe.
2. Titule la solución de sulfato de amonio ferroso según se describió anteriormente.
3. Adicione 20 mL de agua desionizada o destilada a los frascos.
4. Valore con la solución de sulfato de amonio ferroso directamente en el frasco adicionando 2 - 3 gotas del indicador de hierro y valorando hasta el punto de equilibrio. El color cambia desde azul hasta carmelita-rojizo. La reacción es bastante lenta. Esto significa que con pequeñas cantidades a veces se alcanza en ocasiones el color final, pero Ud. debe ser muy cuidadoso ya que una gota puede cambiar el color en segundos, esto puede durar hasta 1 minuto por lo cual al aparecer vestigios de color rojizo o carmelitoso debe continuar pero cuidadosamente ya que se está aproximando al final de la valoración.

## Cálculos

calcule la DQO de la muestra mediante la ecuación siguiente :

$$DQO_{(mg.O_2/L)} = \frac{(a-b) \times ConcSulfatoFerrosoAmonico \times 8 \times 1000}{V_{muestra}}$$

dónde :

<i>a</i>	Volumen gastado de sulfato de amonio ferroso para el blanco.
<i>b</i>	Volumen gastado de sulfato de amonio ferroso para la muestra.
<i>ConcSulfatoFerrosoAmónico</i>	Concentr de solución de Sulfato Ferroso Amónico
<i>8</i>	Peso equivalente para el oxígeno (16 / 2).
<i>V<sub>muestra</sub></i>	Volumen empleado de la muestra (5,0 mL).

## 10. Espectrofotómetro de llama

### I. SODIO

#### Fundamento

La espectrofotometría de emisión por medio de una llama se utiliza fundamentalmente para la determinación de los metales alcalinos como son el sodio, el potasio y el litio aunque también pueden determinarse algunos metales alcalino - térreos.

Si una solución acuosa conteniendo el elemento que se desea determinar se vaporiza en una llama éste pasa al estado de vapor atómico por efecto de la aplicación de la energía térmica de la llama, de forma continuada un número de átomos pasan a un estado de excitación más elevado es decir dan un salto electrónico hacia un orbital de mayor energía en el cual permanecen por muy corto tiempo.

Al retornar a su estado base de energía, los átomos del elemento excitado emiten la energía absorbida para el salto electrónico, la cual es característica para cada elemento en particular. Si se mantiene la temperatura de la llama y el flujo de sustancia a una velocidad constante durante el período de medición, la medición cuantitativa de la emisión radiante será proporcional a la concentración del elemento objeto de ensayo.

Si la luz emitida por los átomos al volver a su estado normal de energía se hacen pasar a través de un filtro que trasmite la luz en una región conocida y se dirige a una celda fotoeléctrica , la corriente eléctrica producida por el efecto fotoeléctrico podrá ser detectada en un galvanómetro.

#### Interferencias

Los elementos que más frecuentemente interfieren son el potasio, el calcio y el magnesio.

#### Aparatos

- Fotómetro de llama capaz de medir en el rango entre 580-590 nm.
- Cristalería normal utilizada en los laboratorios

## **Reactivos**

### **a) Agua exenta de Sodio**

Se trata el agua destilada pasando la misma a través de una resina mixta y se preparan todos los reactivos y las soluciones para las curvas de calibración con esta agua así como el ajuste a cero del equipo.

### **b) Solución patrón de 100 meq/L, ( 0,1 N ) de Cloruro de Sodio NaCl**

Pese 2,29 g de Cloruro de Sodio secados a 140 ° C y disuélvalos en agua destilada. Diluya a 1000 mL.

## **Calibración**

- Curva de calibración hasta 10 meq/L.

Tomar volúmenes de la solución 0,1 N y añadir a frascos volumétricos de 50 mL y preparar patrones de 1, 2 ,3 ,4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 meq/L. Enrasar con agua destilada, agitar para uniformar la concentración. Ajustar el equipo a 100% de transmitancia con la solución de mayor concentración y a cero con agua destilada y leer los diferentes patrones. Confeccionar la curva de calibración en papel semilogarítmico.

- Curva de calibración de 4 meq/L.

Se toman los volúmenes apropiados de la solución de 10 meq/L y se agregan a matraces aforados de 50 mL para obtener concentraciones de sodio de 1, 2, 3 y 4 meq/L. Leer en el fotómetro de llama ajustando a 100% de transmitancia con el patrón de 4 meq/l y a cero con agua destilada y leer los diferentes patrones. Confeccionar la curva de calibración en papel semilogarítmico.

- Curva de calibración de 1 meq/L.

Añadir las alícuotas adecuadas de la solución de 10 meq/L en frascos volumétricos de 50 mL para obtener niveles de Sodio de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8, y 1,0 meq/L y enrasar los frascos con agua destilada. . Leer en el fotómetro de llama ajustando a 100% de transmitancia con el patrón de mayor concentración y a cero con agua destilada y leer los diferentes patrones. Confeccionar la curva de calibración en papel semilogarítmico.

## **Procedimiento**

Encienda el fotómetro de llama y permita su calentamiento durante 30 minutos y seleccione la longitud de onda de 590 nm o el filtro de sodio y calibre a 0-100 de transmitancia con el agua de referencia y la solución de mayor concentración según la curva de calibración a utilizar, de acuerdo con los tenores de sodio esperados en las muestras. Es conveniente repetir esta operación. Para obtener los resultados en meq/L se interpola la lectura de la muestra en la curva de calibración.

## **Cálculo**

$$mg. Na^{+} / L = meq. Na^{+} / L \times 22,9$$

## **II. POTASIO**

### **Fundamento**

Los fundamentos de este método son los mismos que los de la determinación de Sodio.

### **Aparatos**

- Fotómetro de Llama con filtro capaz de medir entre 760-770 nm.
- Cristalería normal de laboratorio.

## **Reactivos**

### **a) Solución madre de 0,1 N (100 meq/L) de Potasio**

Se pesan 3,91 g de Cloruro de Potasio puro para análisis, previamente secado a 105 °C y enfriado en desecadora y se pasan a un matraz aforado o frasco volumétrico, se disuelven con agua destilada y se diluyen a 1 000 mL.

#### **b) Solución patrón de 1 meq/L de potasio**

Se pipetea 10 mL de la solución madre 0,1 N y se diluyen a 1000 mL en un matraz aforado o frasco volumétrico.

#### **Curva de calibración**

Se preparan soluciones de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 meq/L a partir de alícuotas de la solución patrón . Se leen los patrones preparados de menor a mayor , anotándose las lecturas correspondientes. Confeccionar la curva de calibración en papel semilogarítmico.

#### **Procedimiento**

Encienda el fotómetro de llama y permita su calentamiento durante 30 minutos. Seleccione la longitud de onda de 768 nm o el filtro de potasio y calibre a 0-100 de transmitancia con el agua de referencia y la solución de mayor concentración repetidas veces.

Se aspira la muestra a la llama de aire - butano o aire - propano y se leen y registran los resultados. Para obtener los resultados en meq/L se interpola la lectura de la muestra en la curva de calibración.

#### **Cálculo**

Por interpolación y a partir de la curva de calibración se aplica la fórmula siguiente :

$$mg.K^+ / L = meq.K^+ / L \times 39,1 \text{ Prueba Batch}$$

#### **¿Qué se necesita?**

- Cuarto de calor o baño térmico para mantener los frascos de digestión a la temperatura apropiada (mesofílico 35-38°C; termofílico: 52 – 56°C)
- Frascos herméticos para colocar la mezcla de inóculo y la muestra para una digestión anaeróbica
- Cilindros, llenos de soluciones de 6N NaCl, para conectar a los frascos (de modo que el CO2 no pueda disolverse en el líquido). El biogás producido desplazará el mismo volumen de esta solución, y de esta forma puede medirse el volumen de biogás producido.

#### **Preparación del inóculo**

Si lo que se desea fermentar son residuos, subproductos o desechos agrícolas, un inóculo derivado de una instalación agrícola de biogás puede utilizarse. Sería aún más conveniente utilizar, de ser posible, un inóculo a partir de una instalación de biogás que también fermente los mismos residuos. Para las pruebas de fermentación termofílica el inóculo debe obtenerse de una instalación operada termofílicamente o una que haya sido adaptada según corresponda.

El inóculo debe tener un contenido de materia orgánica (MO) mayor que el 50% de los sólidos totales, 6,8<pH<8,2, a TAC > 10000 mg CaCO3/L, FOS < 2000 mg CH3COOH/L o FOS/TAC<0,4 y NH4-N<0.3 gN/l. (Antes de utilizar el inóculo para realizar mediciones, se debe determinar si el mismo es de buena calidad.)

Antes de utilizarse en la prueba de fermentación, el inóculo debe almacenarse durante una semana a temperatura de prueba de modo que se reduzca suficientemente su propia producción de gas mediante una fase de estabilización (sin alimentación).

Con el objetivo de normalizar el curso de la fermentación, el batch debe contener entre el 1,5 y el 2 % del peso de la masa orgánica del inóculo (ni más ni menos) con el objetivo de garantizar una concentración de biomasa comparable (por ejemplo, un batch de fermentación de 500 ml necesita entre 7.5 g MO y 10 g MO del inóculo: en otras palabras, por ejemplo, 400 ml de inóculo con contenido de materia seca (MS) de 3,5 % de peso y MO de 60% de peso de la MS).

### **Tamaño de la muestra**

Al determinar cuánto sustrato e inóculo debe pesarse en un batch de fermentación, deben respetarse las siguientes restricciones:

- Para evitar la inhibición en el batch de fermentación, el sustrato no debe estar en mayor proporción que el inóculo.

$$\frac{oTS \text{ substrate}}{oTS \text{ seeding sludge}} \leq 0,5$$

- El contenido de sólidos totales en el batch no debe exceder el 10% si se desea garantizar una transferencia de masa adecuada.

### **Preparación de la muestra**

Las muestras deben prepararse (pretratarse) si las propiedades del material presente no permiten su uso directo en la prueba de fermentación. Generalmente con esta preparación se producirá la granulación apropiada. En lo que respecta a la representatividad de las muestras también sería conveniente realizar la preparación de la muestra incluso antes de dividir la muestra acumulativa.

Para preparar el sustrato para la fermentación, se deben seguir los siguientes pasos:

#### a) Eliminar impurezas

Las impurezas (como piedras, plástico, vidrio, u otros materiales que no sean orgánicos) deben ser eliminados mediante un cuidadoso proceso de selección antes de la posterior reducción de tamaño. La proporción de impurezas debe tomarse en consideración en la evaluación de pruebas y documentarse en el informe.

#### b) Clasificación

La muestra en su totalidad debe, por ejemplo, ser tamizada mediante un tamiz con una malla de 10 mm (orificios cuadrados) para separar fracciones menores de 10 mm de aquellas mayores de 10 mm. Las fracciones mayores de 10 mm deben ser revisadas una vez más en busca de impurezas como se indica en la sección a) para proceder a su eliminación.

#### c) Reducción de tamaño

Para materiales suaves o pastosos, la reducción de tamaño se ejecuta al forzar el material fresco a través de la malla de 10 mm. Si existe material fibroso o cualquier otro material cuya reducción de tamaño resulte difícil, debe ser cortado, trozado o procesado hasta obtener una granulación menor de 10 mm.

#### d) Homogenización

El material obtenido de la prueba inicial que no exceda los 10 mm y el material al que se le ha reducido el tamaño según se describe en la sección c) debe homogenizarse mediante un proceso de mezclado.

La forma en que se preparan las muestras debe ser documentada con precisión en un registro escrito (Anexo).

Una vez preparada, la muestra debe introducirse en la prueba de fermentación tan pronto como sea posible.

### **Anexo 1 Registro de preparación de muestras**

#### **Registro de preparación de muestra no.**

a) Información general

1- Lugar de procedencia de la muestra (dirección):

2- Tipo de muestra:

3- Fecha y tiempo de preparación

4- Nombre de la persona que prepara las muestras

b) Proceso de preparación de muestras

5- Peso de la muestra, en kg:

6- Separación de impurezas:

Cantidad de impurezas, en kg:

Tipo de impurezas:

7- Granulación

Fracción menor de 10 mm, en kg:

Fracción mayor de 10 mm, en kg:

8- Método empleado para la reducción de tamaño de las fracciones mayores de 10 mm:

9- Tipo de homogenización:

10- (Si procede) Rango de granulación ideal alcanzada para el material de fermentación

11- Fecha tope de almacenaje:

12- Lugar:

Fecha

Firma(s) del editor de protocolo

#### **Procedimiento para la prueba**

Se pesa la muestra en el frasco de fermentación, mezclada con agua de ser necesario, y luego el frasco se llena cuidadosamente con el inóculo hasta el volumen deseado. Se toma una muestra de esta mezcla para determinar pH,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{N}_{\text{Kjeldahl}}$ , MS, MO y FOS/TAC (y DQO de ser posible). El frasco de fermentación se coloca en el cuarto de calor o en el baño a la temperatura de proceso y se conecta a través de mangueras plásticas a cilindros llenos de disolución de 6N NaCl donde el biogás producido será almacenado.

Cada corrida se realiza en duplicado y el punto medio de ambas pruebas se toma como resultado de la prueba. También se necesita un blanco = inóculo sin muestra, para eliminar la cantidad de biogás que produce el inóculo por sí mismo.

Durante el experimento, debe agitarse manualmente los frascos una vez al día para evitar los sedimentos y las capas flotantes. La lectura de la cantidad de biogás se realizará con la frecuencia que sea necesaria para lograr que el curso de la formación del gas pueda apreciarse perfectamente. Esto conduce a lecturas diarias. El contenido de metano del biogás debe determinarse a intervalos regulares; por ejemplo, cada vez que el volumen de biogás almacenado en los cilindros sea suficiente para realizar la medición. Se debe cerrar la conexión a los frascos de fermentación y abrir la conexión del cilindro al aire para liberar el biogás, y conectar el analizador de biogás para medir la calidad del gas.

La prueba se continúa hasta que se forme tan solo una pequeña cantidad de biogás. El criterio para dar por culminada la prueba es cuando la cantidad de biogás diaria equivale sólo al 1% del volumen total de biogás producido hasta ese momento. Normalmente la gran mayoría del biogás se forma durante la primera semana de la prueba de fermentación. A menudo la degradación biológica finaliza más o menos a los 20 días, y en la mayoría de los casos luego de los 40 días aproximadamente se observan sólo pequeños niveles de producción de biogás.

Al finalizar la prueba deben determinarse y registrarse el pH, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>kjeldahl</sub>, MS, MO, FOS/TAC y DQO del material en el frasco de prueba de fermentación. Para el caso de sustratos poco homogéneos debe agitarse bien para tomar la muestra final y tomar si es posible 4 réplicas.

### **Evaluación cuantitativa.**

El primer paso es calcular el volumen normal del gas de la fermentación que se desarrolló en el período de lectura. A partir de ello se calcula el contenido de vapor de agua del biogás y se obtiene el volumen de gas seco.

Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$V_{otr} = \frac{V \cdot (p - p_w) \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

Donde

$V_{otr}$  volumen del gas seco en estado normal, en mlN

$V$  volumen del gas según lectura, en ml

$p$  presión de la fase gaseosa en el momento de la lectura, en hPa

$p_w$  presión del vapor de agua como función de la temperatura ambiental, en hPa

$T_0$  temperatura normal;  $T_0 = 273$  K

$p$  presión normal;  $p_0 = 1013$  hPa

$T$  temperatura del gas de fermentación o ambiental, en K

Para los batch con la mezcla del sustrato o del sustrato de referencia, la proporción de producción de gas a partir del inóculo en la prueba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{IS(korr.)} = \frac{\sum V_{IS} \cdot m_{IS}}{m_M}$$

Donde

$V_{IS(korr.)}$  volumen de gas liberado a partir del inóculo, en mlN

$\sum V_{IS}$  volumen total de gas en la prueba con inóculo en mlN

$m_{IS}$  masa del inóculo utilizada para la mezcla, en g

$m_M$  masa del inóculo utilizada en la prueba de control, en g

El volumen de biogás producido por la muestra se puede calcular :

$$V_{muestra} = V_{otr} - V_{IS(korr.)}$$

Estos cálculos aparecen recogidos en una hoja de Excel Cálculos Pruebas Batch, guardado en la computadora del laboratorio.

## **11. Prueba semi-continua**

### **¿Qué se necesita?**

- Reactores de digestión con control de temperatura, mezclador automático y medidores de volumen de gas

### **Preparación del inóculo**

Si lo que se desea fermentar son residuos, subproductos o desechos agrícolas, un inóculo derivado de una instalación agrícola de biogás puede utilizarse. Sería aún más conveniente utilizar, de ser posible, un inóculo a partir de una instalación de biogás que también fermente los mismos residuos. Para las pruebas de fermentación termofílica el inóculo debe obtenerse de una instalación operada termofílicamente o una que haya sido adaptada según corresponda.

El inóculo debe tener un contenido de materia orgánica (MO) mayor que el 50% de los sólidos totales,  $6,8 < \text{pH} < 8,2$ , a  $\text{TAC} > 10000 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ ,  $\text{FOS} < 2000 \text{ mg CH}_3\text{COOH}/\text{L}$  o  $\text{FOS}/\text{TAC} < 0,4$  y  $\text{NH}_4\text{-N} < 0,3 \text{ gN}/\text{l}$ . (Antes de utilizar el inóculo para realizar mediciones, se debe determinar si el mismo es de buena calidad.) Antes de utilizarse en la prueba de fermentación, el inóculo debe almacenarse durante una semana a temperatura de prueba de modo que se reduzca suficientemente su propia producción de gas mediante una fase de estabilización (sin alimentación).

### **Preparación de la muestra**

Las muestras deben prepararse (pretratarse) si las propiedades del material presente no permiten su uso directo en la prueba de fermentación. Generalmente con esta preparación se producirá la granulación apropiada. En lo que respecta a la representatividad de las muestras también sería conveniente realizar la preparación de la muestra incluso antes de dividir la muestra acumulativa.

Para preparar el sustrato para la fermentación, se deben seguir los siguientes pasos:

#### **III. Eliminar impurezas**

Las impurezas (como piedras, plástico, vidrio, u otros materiales que no sean orgánicos) deben ser eliminados mediante un cuidadoso proceso de selección antes de la posterior reducción de tamaño. La proporción de impurezas debe tomarse en consideración en la evaluación de pruebas y documentarse en el informe.

#### **IV. Clasificación**

La muestra en su totalidad debe, por ejemplo, ser tamizada mediante un tamiz con una malla de 10 mm (orificios cuadrados) para separar fracciones menores de 10 mm de aquellas mayores de 10 mm. Las fracciones mayores de 10 mm deben ser revisadas una vez más en busca de impurezas como se indica en la sección a) para proceder a su eliminación.

#### **V. Reducción de tamaño**

Para materiales suaves o pastosos, la reducción de tamaño se ejecuta al forzar el material fresco a través de la malla de 10 mm. Si existe material fibroso o cualquier otro material cuya reducción de tamaño resulte difícil, debe ser cortado, trozado o procesado hasta obtener una granulación menor de 10 mm.

##### **d) Homogenización**

El material obtenido de la prueba inicial que no exceda los 10 mm y el material al que se le ha reducido el tamaño según se describe en la sección c) debe homogenizarse mediante un proceso de mezclado.

La forma en que se preparan las muestras debe ser documentada con precisión en un registro escrito (Anexo).

Una vez preparada, la muestra debe introducirse en la prueba de fermentación tan pronto como sea posible.

## **Anexo Registro de preparación de muestras**

### **Registro de preparación de muestra no.**

a) Información general

1- Lugar de procedencia de la muestra (dirección):

2- Tipo de muestra:

3- Fecha y tiempo de preparación

4- Nombre de la persona que prepara las muestras

b) Proceso de preparación de muestras

5- Peso de la muestra, en kg:

6- Separación de impurezas:

Cantidad de impurezas, en kg:

Tipo de impurezas:

7- Granulación

Fracción menor de 10 mm, en kg:

Fracción mayor de 10 mm, en kg:

8- Método empleado para la reducción de tamaño de las fracciones mayores de 10 mm:

9- Tipo de homogenización:

10- (Si procede) Rango de granulación ideal alcanzada para el material de fermentación

11- Fecha tope de almacenaje:

12- Lugar:

Fecha

Firma(s) del editor de protocolo

### **Cantidad de muestra**

La cantidad de la muestra se calcula por la carga orgánica del reactor. (ver procedimiento para la prueba)

### **Procedimiento para la prueba**

Llene los reactores de digestión con inóculo y asegúrese de que alcance la temperatura de proceso. Deje reposar el inóculo a la temperatura de proceso durante una semana como mínimo. Al comenzar la prueba el reactor generalmente se llena con un inóculo adaptado precultivado y se comienza a agregar el sustrato a una baja carga orgánica (*organic loading rate OLR*) aproximadamente 0,5 kg MO/(m<sup>3</sup>reactor·d). Tan pronto como la producción diaria de metano se haga constante durante al menos 4 días (valor empírico), la carga puede incrementarse en 0,5 unidades. En la mayoría de los casos la carga puede elevarse cada 14 días (o antes si usted nota que el proceso es muy estable, compruébelo con AGV y NH<sub>4</sub>-N). Este proceso de incrementar la carga se continúa hasta que la productividad específica del gas deje de aumentar –o incluso disminuya – cuando la carga está aumentada. A partir de la carga orgánica OLR = 4 kgMO/m<sup>3</sup>reactor.d debe trabajarse cuidadosamente para no provocar una sobrecarga del reactor.

Pese la muestra y agréguela manualmente dos veces al día (mañana y tarde). La muestra generalmente se mezcla con una pequeña cantidad de residuo de fermentación antes de introducirse en el reactor con el objetivo de facilitar la adición del sustrato y garantizar una mezcla rápida con el contenido del reactor.

En general, mezclar a bajas velocidades de entre  $50 \text{ min}^{-1}$  y  $100 \text{ min}^{-1}$  será suficiente para garantizar que el mezclado y la liberación de gases sean adecuados. Si el sustrato es homogéneo, la agitación puede ser discontinuo de sólo pocos minutos de agitación cada hora será suficiente.

Se debe realizar una lectura diaria del volumen de biogás producido mediante los medidores de gases que están conectados a los reactores. Para medir la calidad del biogás, es necesario conectar una bolsa de gas a la salida del medidor de biogás (una vez al día, conectar por la mañana y medir por la tarde, antes de alimentar otra vez), y cuando la bolsa de gas esté llena, conectarla al analizador de gases.

Durante la prueba de digestión, y sobre todo durante el período en el que se incrementa la carga orgánica, es necesario darle un cuidadoso seguimiento al proceso. Ello se garantiza realizando los siguientes análisis:

diariamente	2 veces por semana	1 vez por semana
pH	FOS/TAC*	MS y MO
calidad del biogás	NH <sub>4</sub> -N	AGV*

(\*) Si al realizar las pruebas se aprecia que el pH y la calidad del gas arrojan malos resultados, los análisis de FOS/TAC y AGV deben realizarse con mayor frecuencia.

Al concluir la prueba, a los residuos digeridos se le deben realizar los siguientes análisis: pH, AGV, MS y MO, NH<sub>4</sub>-N y DQO.

#### **Evaluación cuantitativa.**

Calcule el volumen normal del gas de fermentación que se desarrolló en los períodos entre lecturas. A partir de ello se calcula el contenido de vapor de agua del biogás y se obtiene el volumen de gas seco.

Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$V_{\text{otr}} = \frac{V \cdot (p - p_w) \cdot T_0}{P_0 \cdot T}$$

Donde

$V_{\text{otr}}$  volumen del gas seco en estado normal, en mlN

$V$  volumen del gas según lectura, en ml

$p$  presión de la fase gaseosa en el momento de la lectura, en hPa

$p_w$  presión del vapor de agua como función de la temperatura ambiental, en hPa

$T_0$  temperatura normal;  $T_0 = 273 \text{ K}$  presión normal;  $p_0 = 1013 \text{ hPa}$

$T$  temperatura del gas de fermentación o ambiental, en K

#### **Parámetros y variables de producción en pruebas semi-continuas de fermentación**

##### Parámetros y unidades

Temperatura	°C
Composición del sustrato	%MS, %MO, mgDQO/l, mgN <sub>kjeldahl</sub> /l, mgNH <sub>4</sub> -N/l
Tamaño de partículas de sustrato	mm
Carga orgánica	g MO/(l · d)
Tiempo de retención hidráulica	d

##### Variables medidas

pH

Producción de biogás	l/d
Rendimiento del Biogás	l biogás/kg MF <sub>alimentada</sub> , l biogás/kg MO <sub>alimentada</sub>
Rendimiento del Metano	l CH <sub>4</sub> /kg MF <sub>alimentada</sub> , l CH <sub>4</sub> /kg MO <sub>alimentada</sub>
Productividad del Biogás	l biogás/(l reactor · d)
Productividad del Metano	l CH <sub>4</sub> /(l reactor · d)
Composición del gas	CH <sub>4</sub> % por volumen, CO <sub>2</sub> % por volumen
Grado de degradación	%
Composición de residuos de fermentación	%MS, %MO, mgDQO/l, mgN <sub>kjeldahl</sub> /l, mgNH <sub>4</sub> -N/l

No se debe olvidar aquí que las propiedades del sustrato en el reactor en el momento en que la carga es aumentada, generalmente no están en estado estable de equilibrio ya que este estado no se alcanza hasta que hayan transcurrido al menos tres tiempos de retención hidráulica (*hydraulic retention times*) (HRT=(volumen de reactor)/(kg MF alimentada/día)). Por tal motivo, si el grado de degradación se calcula mediante un balance de las propiedades de entrada y salida de los sustratos, en este punto el mismo estará colmado de errores. Antes de coger una muestra en el reactor y calcular la eficiencia a través del MO y DQO que se transforme en biogás es necesario esperar al menos tres tiempos de retención hidráulica.

$$MO_{degradacion}(\%) = \frac{V_{gas} \cdot C_{CH_4 + CO_2}}{m_{sust} \cdot (MO_{sust} + Hac_{sust})} \cdot 100$$

V <sub>gas</sub>	volumen de biogás, mlN/d
C <sub>CH<sub>4</sub>+CO<sub>2</sub></sub>	concentración de masa de CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> en biogás, g/mlN
m <sub>sust</sub>	sustrato alimentado, g/d
MO <sub>sust</sub>	concentración de MO en el sustrato, g/g
Hac <sub>sust</sub>	cantidad de ácidos grasos volátiles en el sustrato, g/g

$$DQO_{degradacion}(\%) = \frac{V_{gas} \cdot x_{CH_4}}{320 \cdot m_{sust} \cdot (DQO_{sust})} \cdot 100$$

V <sub>gas</sub>	volumen de biogás, mlN/d
x <sub>CH<sub>4</sub></sub>	volumen de metano
m <sub>Sust</sub>	sustrato alimentado, g/d
DQO <sub>Sust</sub>	DQO del sustrato, g/g

### **Es bueno conocer que:**

El equivalente del metano por unidad DQO convertida y la proporción de metano en el gas también pueden calcularse a través del DQO de la glucosa (DQO de glucosa = 1,067 g O<sub>2</sub>/g MO) como 1,067 g O<sub>2</sub>/gMO · 0,35 lN CH<sub>4</sub>/g O<sub>2</sub> /0,5 lNbiogás/lNCH<sub>4</sub> = 0,747 lN biogás/g de sustancia orgánica convertida, confirmando así la relevancia del DQO en la formación del metano. Debido a que a partir de la experiencia práctica se conoce que alrededor del 10% de la carga de DQO convertida es consumida en la reformación de la biomasa, podemos asumir que bajo condiciones prácticas una degradación total de 1 g DQO producirá alrededor de 320 mlN de gas metano.

Anexo 2. Resultados de la aplicación a los expertos seleccionados.

Tabla 3.10. Valores de la tabla patrón.

<b>Fuentes de argumentación o fundamentación</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Análisis teóricos realizados	0,30	0,20	0,10
Su experiencia obtenida	0,50	0,40	0,20
Trabajos de autores nacionales	0,05	0,05	0,05
Trabajos de autores extranjeros	0,05	0,05	0,05
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,05	0,05
Su intuición	0,05	0,05	0,05

Tabla 3.11. Causas de los expertos sobre el conocimiento acerca de la utilización de los biofertilizantes en el cultivo del tomate.

Causas	A	B	C	D	E	F	G	
Expertos								
1	1	7	4	3	5	2	6	
2	3	5	6	2	7	1	4	
3	4	6	5	1	3	2	7	
4	5	6	4	3	2	1	7	
5	2	4	3	6	7	1	5	
6	3	5	7	6	4	2	1	
7	1	3	2	5	7	4	6	
8	6	7	4	5	3	1	2	
9	2	6	5	3	4	1	7	
10	1	5	4	6	7	2	3	
Total	28	54	44	40	49	17	48	280

$T=1/2*(K+1)*M$								40
$\Delta=\Sigma R_j-T$	-12	14	4	0	9	-23	8	
$\Delta^2$	144	196	16	0	81	529	64	$\Sigma=1030$
$W=0,3575$								