



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS “JOSÉ MARTÍ PÉREZ”

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARRERA INGENIERÍA EN PROCESOS AGROINDUSTRIALES

TRABAJO DE DIPLOMA

**Efecto del digestato de planta de biogás y el
fermentado del suelo como bioestimulante en
plantas de cebolla (*var. Caribe71*)**

AUTOR: Manuel Orelbis Ferrer Rodríguez

TUTORES: Lic. Janet Jiménez Hernández

Lic. Edelbis López Dávila

CURSO: 2013 - 2014

"El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad."

Victor Hugo.

AGRADECIMIENTO

A la Revolución por darme la oportunidad de graduarme como Ingeniero Agroindustrial

A mis padres, mi hija y esposa por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y confiar en mí.

A mis familiares que siempre estuvieron preocupados por mi desempeño.

A mis amigos y compañeros de trabajo por su apoyo incondicional y estar presentes cuando los necesite.

A mis compañeros de aula por estos años juntos.

A todos los que de una forma u otra colaboraron en la realización de esta investigación.

A mis profesores y especialmente a mis tutores Janet Jiménez y Edelbis Dávila por su tiempo, paciencia, dedicación y apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres, por darme la vida y guiarme por el camino correcto.

A mi hija por ser lo más grande que tiene un ser humano.

A mi esposa por estar siempre a mi lado.

A todos mis profesores y tutores.

A todos los que lo intentaron y no llegaron.

A todos los que ya no están presentes

INDICE

| | PAG. |
|--|------|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1. Marco teórico | |
| 1.1. El cultivo de la cebolla. | 6 |
| 1.2. La aplicación de la agroecología en el cultivo de la cebolla | 10 |
| 1.3. El digestato y los Microorganismos eficientes como abonos orgánicos. | 13 |
| Capítulo 2. Materiales y métodos | |
| 2.1. Método de experto para determinar las principales causas que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán. | 19 |
| 2.1.1. Proceso de selección de los expertos | 19 |
| 2.1.2. Evaluación de la opinión de los expertos | 21 |
| 2.2. Experimentación a escala de campo. Localización y características del suelo utilizado | 21 |
| 2.3. El digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos. Caracterización físico-química | 22 |
| 2.4. Aplicación de los abonos orgánicos (digestato y microorganismos eficientes) al cultivo de cebolla (<i>Allium cepa</i> , L. variedad caribe-71) | 23 |
| 2.4.1. Diseño experimental | 23 |
| 2.4.2. Preparación del terreno, atenciones culturales y plantación | 24 |
| 2.4.3. Aplicaciones de los abonos orgánicos en forma de mezcla a diferentes concentraciones | 24 |
| 2.4.4. Indicadores del crecimiento y desarrollo de la cebolla | 24 |
| 2.5. Análisis estadístico | 25 |
| 2.6. Análisis económica | 25 |
| Capítulo 3. Análisis de los resultados | |
| 3.1. Principales causas que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán según el Método de experto | 27 |
| 3.2. El digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos. Caracterización físico-química | 27 |
| 3.3. Aplicación del digestato mezclado con ME a diferentes concentraciones, al cultivo de cebolla | 29 |
| 3.4. Análisis económico | 34 |
| Conclusiones | 36 |
| Recomendaciones | 37 |
| Bibliografía | |

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebolla tiene una amplia distribución mundial y una producción con tendencia creciente. Aproximadamente 30 millones de toneladas de bulbos secos son cosechados anualmente en el mundo. Es la segunda hortaliza más importante, después del tomate, debido a su uso como condimento en la alimentación humana pues puede consumirse en diferentes formas tales como: bulbo seco, hojas verdes, bulbo o cabeza fresca, cabeza tierna o de desarrollo intermedio, deshidratado en polvo o escamas y en encurtidos. Además, es un cultivo que hoy en día cuenta con gran diversidad genética adaptable a diferentes condiciones agroclimáticas (Guenkov, 1969; Huerres y Carballo, 1988; FAO, 1992).

En Cuba la producción no alcanza niveles altos y es destinada principalmente al consumo interno de la población como condimento y ensalada, cultivándose en casi todo el país, correspondiendo el 50% de la producción a la provincia Habana, entre el 25 y 30% a Sancti Spíritus y el resto a las demás zonas del País. En Sancti Spíritus la mayor producción se obtiene en la zona de Banao, aunque se ha constatado que hay otras zonas de producción como Taguasco y Cabaiguán, donde el sector campesino es quien se encarga de la totalidad de la producción (Santana, 1999).

El éxito alcanzado en el cultivo de cebolla radica en el manejo integrado de las prácticas culturales, ya sea durante el cultivo o en el período de post-cosecha, con la optimización del ambiente en el que se desarrolla el cultivo. El manejo de la nutrición debe tener como objetivo proporcionar en tiempo y forma los nutrientes esenciales, teniendo en cuenta cada etapa de su ciclo (Mercedes 2003).

Para paliar el efecto negativo del uso indiscriminado de fertilizantes químicos, y la contaminación que propician al medio ambiente, ha sido necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes (Soria-Fregoso et al., 2001). Así, se han tratado de desarrollar nuevos conceptos como la agricultura ecológica o el uso de biofertilizante (Rosset & Benjamín, 1994). La agricultura

orgánica es un sistema productivo alternativo al uso irracional y a la dependencia excesiva de insumos externos sintéticos en los agro-ecosistemas (Gliessman 2002).

A nivel mundial, ha aumentado el interés por el uso de abonos orgánicos como una forma alternativa de fertilización en los sistemas agrícolas, situación que se genera por el incremento en los precios de los agroquímicos derivados del petróleo y de una mayor toma de conciencia de los productores y consumidores sobre la necesidad de proteger el ambiente y la salud humana (Thiers, 2005; Gomiero y Paoletti, 2008; Ghordani, Koochek, Brandt, Wilcockson y Leifert, 2010).

Algunos investigadores le atribuyen a los abonos orgánicos una serie de cualidades, entre las que destacan su capacidad para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, sustituir las pérdidas de materia orgánica y estimular la actividad biológica (Hargreaves, et al., 2008; Lovieno, et al., 2009; Erhart y Hartl, 2010; Yan y Gong, 2010).

El enfoque agroecológico presenta un modelo alternativo para el desarrollo agrícola, que se enfrenta al modelo desarrollado y propugnado por países industrializados, con sus mecanismos de investigación internacional y organismos financieros, denominado “revolución verde” (agroquímicos) y la agrobiotecnología (transgénicos) al servicio de las transnacionales y pequeños grupos de poder nacional. (Pérez, 2006 y Martínez et al. 2007).

El uso cada vez mayor de microorganismos en la agricultura, en detrimento del empleo de fertilizantes químicos, constituye una alternativa promisoría para la obtención de altos rendimientos a nivel mundial, ya que es imprescindible renovar la reserva de nutrientes que se pierde en el suelo, mediante la fijación biológica de nitrógeno, para llegar a una agricultura sostenible a largo plazo.

La aplicación de biofertilizantes 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).

En Cuba existe gran cantidad de pequeños productores porcinos que no dan tratamiento alguno a las excretas y las arrojan a pequeñas fosas o directamente a pozos o partes bajas de la granja propiciando serios problemas de contaminación por coliformes y nitratos en suelos y acuíferos. Los efluentes orgánicos obtenidos después de la digestión anaerobia (digestato) de estos estiércoles tienen una incalculable riqueza nutricional (Noyola y Monroy, 1994).

Álvarez, 2004 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

Los altos costos de producción, la contaminación del medio ambiente, y la salud de los productores y consumidores, así como las exigencias de los mercados nacionales e internacionales, han hecho sentir a los agricultores y profesionales del sector agropecuario, la necesidad de un cambio en el manejo de los cultivos y en nuestro caso del cultivo de la cebolla, que conduzca hacia una reducción paulatina de los agroquímicos, y un cambio hacia una agricultura orgánica donde produzcamos utilizando las fuerzas de la naturaleza y con ello recuperando los equilibrios naturales en la micro flora del suelo.

La investigación fue conducida con el objetivo de evaluar la respuesta agronómica que posee la biofertilización natural en el cultivo de la cebolla, y de adecuar los métodos que permitan elevar la calidad de las cosechas en las condiciones agroclimáticas del municipio de cabaiguan

Considerando estos aspectos se planteó la presente investigación con el fin de conocer la respuesta del cultivo de la cebolla al uso del digestato y de este mezclado con el microorganismo eficiente como estimulante en el rendimiento del cultivo de la cebolla. Por ello surge el siguiente **problema científico**: ¿Cómo estimular el rendimiento de plantas de cebolla (*Allium cepa* var. *Caribe-71*), en suelos del municipio de Cabaiguán?

Hipótesis

Si se utiliza el digestato resultante del tratamiento anaerobio de estiércoles porcinos y los Microorganismos eficientes como abonos orgánicos estimulantes del cultivo de la cebolla, entonces se podrán obtener cosechas con menores costos y mayor rendimiento en suelos del municipio de Cabaiguán.

Para ello se formula el siguiente **objetivo general**:

Analizar el efecto del digestato resultante del tratamiento anaerobio de estiércoles porcinos y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos estimulantes del cultivo de la cebolla (*Allium cepa* var. *Caribe-71*).

Objetivos específicos:

1. Determinar por método experto las causas que ocasionan los bajos rendimientos y altos costos de producción en el cultivo de la cebolla.
2. Caracterizar el digestato obtenido de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino y los microorganismos eficientes.
3. Evaluar el efecto de la aplicación de una mezcla de los abonos orgánicos: digestato obtenido de un reactor anaerobio alimentado con estiércol porcino, y microorganismos eficientes.
4. Determinar el efecto agronómico de ambos abonos orgánicos mediante el análisis económico de los costos del proceso.

Valor teórico: se estudia por primera vez en Cuba el efecto que tiene la aplicación de dos abonos orgánicos y de su interacción en el rendimiento de la producción de cebolla (*Allium cepa* var. *Caribe-71*).

Valor práctico: se contribuye al conocimiento sobre las características que físico químicas y biológicas de los abonos orgánicos: digestato de planta de biogás y microorganismos eficientes, así como de su valor agronómico. Se demuestra la aplicación de abonos orgánicos como alternativa para la fertilización y estimulación del rendimiento en la producción de cebollas, lo cual constituye otro ejemplo en la búsqueda de prácticas agroecológicas, que implica un aporte al desarrollo económico-social con menor riesgo ambiental.

La investigación también demuestra como la utilización de herramientas de ingeniería industrial (como el uso del sistema de experto), contribuye a una mejor interpretación de los resultados experimentales.

Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

1.1 El cultivo de la cebolla

La cebolla (*Allium cepa L.*) es la segunda hortaliza más importante en el mundo, después del tomate, lo cual se debe a su uso como condimento en la alimentación humana. Tiene la ventaja de que puede consumirse en diferentes formas tales como: bulbo seco, hojas verdes, bulbo o cabeza fresca, cabeza tierna o de desarrollo intermedio, deshidratado en polvo o escamas y en encurtidos. Además, es un cultivo que hoy en día cuenta con gran diversidad genética adaptable a diferentes condiciones edafoclimáticas lo cual hace de este cultivo un producto que puede ser adaptado a muchas zonas en el país. Sin embargo, la producción local no abastece la demanda interna, teniéndose que importar volúmenes altos de este producto (Carrillo 1985).

El origen primario de la cebolla se localiza en Asia central, y como centro secundario el Mediterráneo, pues se trata de una de las hortalizas de consumo más antigua. Las primeras referencias se remontan hacia 3.200 a.C. pues fue muy cultivada por los egipcios, griegos y romanos. Durante la Edad Media su cultivo se desarrolló en los países mediterráneos, donde se seleccionaron las variedades de bulbo grande, que dieron origen a las variedades modernas (Carrillo 1985).

Necesidades nutricionales

En suelos poco fértiles se producen cebollas que se conservan mejor, pero, naturalmente, su desarrollo es menor. Para obtener bulbos grandes se necesitan tierras bien fertilizadas. No deben cultivarse las cebollas en tierras recién estercoladas, debiendo utilizarse las que se estercolaron el año anterior (Carrillo 1985).

-Nitrógeno. La absorción de nitrógeno es muy elevada, aunque no deben sobrepasarse los 25 kg por hectárea, e influye sobre el tamaño del bulbo. Por regla general, basta con un suministro días antes del engrosamiento del bulbo y

después del trasplante, si fuese necesario. El abono nitrogenado mineral favorece la conservación, ocurriendo lo contrario con el nitrógeno orgánico. El exceso de nitrógeno da lugar a bulbos más acuosos y con mala conservación.

-Fósforo. La necesidad en fósforo es relativamente limitada y se considera suficiente la aplicación en el abonado de fondo. Se deberá tener en cuenta que el fósforo está relacionado con la calidad de los bulbos, resistencia al transporte y mejor conservación.

-Potasio. Las cebollas necesitan bastante potasio, ya que favorece el desarrollo y la riqueza en azúcar del bulbo, afectando también a la conservación.

-Calcio. El suministro de calcio no es por norma necesario si el terreno responde a las exigencias naturales de la planta.

Riego. El primer riego se debe efectuar inmediatamente después de la plantación. Posteriormente los riegos serán indispensables a intervalos de 15-20 días. El número de riegos es mayor para las segundas siembras puesto que su vegetación tiene lugar sobre todo en primavera o verano, mientras que las siembras de fin de verano y otoño se desarrollan durante el invierno y la primavera. El déficit hídrico en el último período de la vegetación favorece la conservación del bulbo, pero confiere un sabor más acre. Se interrumpirán los riegos de 15 a 30 días antes de la recolección. La aplicación de antitranspirantes suele dar resultados positivos (Carrillo 1985).

Plagas y enfermedades. Son varias las plagas y enfermedades que atacan al cultivo de la cebolla (Martínez et al., XXXX), producidas sobre todo por insectos y hongos del suelo. A continuación se mencionan algunos ejemplos:

Minador común (*Liriomyza trifolii* Burgess in Comstock): Las larvas se alimentan del mesófilo de las hojas, formando sinuosas galerías de aspecto blanquecino.

Escarabajo de la cebolla (*Lylyoderys meridigera*): Las larvas recortan bandas paralelas a los nervios de las hojas.

Mosca de la cebolla (*Hylemia antiqua*): Las larvas atacan a las flores y órganos verdes. El ápice de la hoja palidece y después muere. Luego ocurre la putrefacción de las partes afectadas de los bulbos, ya que facilita la penetración de patógenos, dañando el bulbo de forma irreversible.

Piojillo de la cebolla (*Thrips tabaci*): Las picaduras de las larvas y adultos terminan por amarillear y secar las hojas. La planta puede llegar a marchitarse si se produce un ataque intenso, sobre todo si éste tiene lugar en las primeras fases de desarrollo de las plantas.

Carbón de la cebolla (*Tubercinia cepulae*): La infección tiene lugar al germinar las semillas, debido a que el hongo persiste en el suelo; las plántulas afectadas mueren.

Podredumbre blanca (*Sclerotium cepivorum*): Los ataques se sitúan en el momento en que brotan las plantas o bien al aproximarse la recolección. Las hojas llegan a presentar un color amarillo llegando a morir posteriormente.

Tizón (*Urocystis cepulae*): La primera hoja joven de la plántula es atacada en la superficie del suelo; el hongo se propaga hasta las hojas sucesivas llegando a infectarlas, pues se desarrolla bajo la epidermis de las hojas y de las escamas. Los síntomas se manifiestan en forma de bandas de color plomo, llegando a reventar, descubriendo unas masas negras polvorosas de esporas. Las esporas quedan en el suelo y lo contaminan durante un largo periodo.

Alternaria (*Alternaria porri*): Suele aparecer, en un principio, como lesiones blanquecinas de la hoja que, casi de inmediato, se vuelven de color marrón. Cuando ocurre la esporulación, las lesiones adquieren una tonalidad púrpura. Los bulbos suelen inocularse estando próximos a la recolección cuando el hongo penetra a través de cualquier herida.

Para evitar estas plagas y enfermedades se aplican diferentes productos químicos, como por ejemplo: Tamarón, Galigán, Dicofol, Cipermetrina, Bi 58,

Zineb (Manual de fichas de costos tecnológicos, MINAG, 2011), entre otros. Estos productos tienen un alto costo en el mercado mundial y la mayoría son importados. De hecho está determinado que el 88 % del costo de producción de la cebolla se debe a gastos en estos insumos, los cuales tienen un costo de alrededor de \$ 4000 por hectárea de cebolla sembrada (Manual de fichas de costos tecnológicos, MINAG, 2011). De ahí, la importancia de introducir nuevas alternativas de fertilización que contribuyan al control biológico en este cultivo.

1.2 La aplicación de la agroecología en el cultivo de la cebolla

La agroecología como enfoque ecológico del proceso agrícola, abarca los aspectos de la producción de alimentos; y toma en cuenta los aspectos culturales, sociales y económicos, que se relacionan e influyen en la producción (García, 2000). Su objetivo es proporcionar una base ecológica racional para el manejo del agro ecosistema, a través de tecnologías de producción estables y de alta adaptabilidad ambiental y social, con técnicas naturales (Sevilla, 1995).

La agroecología se centra en las relaciones ecológicas en el campo y su propósito enfatiza en la forma, la dinámica y las funciones de esta relación. Considera el predio agrícola, como un agroecosistema y formaliza el análisis del conjunto de procesos e interacciones que intervienen en un sistema de cultivos (Gliessman, 2002; Altieri, 1993).

En el caso de la cebolla es ampliamente utilizada la fertilización química. Aunque se han realizado varios estudios de aplicación de controladores biológicos como la *Trichoderma sp.* Que además han favorecido el crecimiento y desarrollo de la planta, así como su rendimiento (Rodríguez, 1998 y Pérez 2006).

Otro ejemplo de práctica agroecológica es la utilización de Tabaquina (mezcla de alcaloides liberado en una suspensión de cal hidratada al 1% en la que predomina la nicotina) la cual se utiliza en la cebolla para evitar los ataques de insectos pequeños y blandos (Altieri, 1997).

Fertilización química versus Fertilización orgánica:

Los fertilizantes han sido alabados por estar altamente asociados con el incremento temporal observado en muchos países en la producción de comida. Los promedios nacionales en la aplicación de nitratos a la mayoría de las tierras arables fluctúan entre 120 a 550 kilogramos de N por hectárea. Pero la bonanza creada al menos en parte a través del uso de fertilizantes, ha asociado, y frecuentemente ocultado, los costos. Una de las principales razones del porqué los fertilizantes químicos contaminan el ambiente es debido a la aplicación excesiva y al hecho de que los cultivos los usan en forma ineficiente. El fertilizante que no es recuperado por el cultivo, ya que termina en el medio ambiente, mayormente en las aguas de superficie o en las aguas subterráneas. La contaminación por nitrato de las aguas está muy extendida y a niveles peligrosos en muchas regiones del mundo. En los Estados Unidos, se estima que más del 25% de los pozos de agua potable tienen contenidos de nitratos muy por encima del nivel de seguridad de 45 partes por millón. Tales niveles de nitratos son peligrosos para la salud humana y estudios han relacionado la injerencia de nitratos con la metaemoglobinemia en los niños y con cánceres gástricos, cáncer a la vejiga y óseos en adultos (Conway y Pretty, 1991).

Los fertilizantes químicos también pueden convertirse en contaminantes del aire, y han sido recientemente implicados en la destrucción de la capa de ozono y con el calentamiento terrestre. Su uso excesivo también ha sido ligado a la acidificación y a la salinización de los suelos y a la alta incidencia de las plagas y las enfermedades a través de la mediación negativa de los nutrientes en los cultivos (McGuinness, 1993).

La agricultura convencional se enfoca en lograr rendimientos máximos en un cultivo específico, basándose en el principio de que los rendimientos del cultivo son aumentados por el uso de nutrientes y reducidos por las plagas, enfermedades y malezas. Por su parte, la agricultura orgánica se basa en el uso de abonos orgánicos o insumos naturales, haciendo énfasis a la renuncia del uso

de fertilizantes y pesticidas que son sintéticos o químicos, para lograr productos de alta calidad, siguiendo los principios y las lógicas de un organismo viviente en el cual todos los elementos (el terreno, las plantas, los animales, los insectos, el agricultor etc.) están estrechamente vinculados unos con otros (Altieri y Nicholls, 2000).

Mientras que la agricultura convencional tiene como meta proveer una nutrición directa a las plantas utilizando fundamentalmente fertilizantes minerales fácilmente solubles, la agricultura orgánica alimenta a las plantas indirectamente alimentando los organismos del suelo con materia orgánica (Altieri y Nicholls, 2000).

Los fertilizantes químicos son preparados sobre la base de materias primas importadas y sus procesamientos a altamente dependiente energía. Tanto las materias primas como los productos terminados están en manos de unas pocas empresas a nivel mundial, lo que crea una dependencia un tanto riesgosa para los agricultores y en última instancia para el país que basa su desarrollo agrícola en estos insumos.

Tratándose de materias primas y productos importados, su adquisición significa entre otros tener los costos basados en moneda extranjera, salida de divisas y la necesidad de mantener subsidios para equilibrar el desfase entre los precios internos de los productos y los precios extremos de los insumos.

La elevada concentración de nutrientes y la baja humedad en los fertilizantes químicos, se constituyen en una de las fortalezas de estos productos. Estos dos factores generan una reducción de los costos para el transporte, su aplicación y manejo de forma general. En la mayoría de los países las formulaciones de los fertilizantes químicos no atienden a las necesidades específicas de la finca, sino bien a situaciones promedio muy generales, lo que conlleva a que la eficiencia de estos no sea la más adecuada para situaciones específicas y se produzca un desperdicio deficiencia de ciertos nutrientes. Si la situación anterior ocurre año tras año, ocurrirían deficiencias muy fuertes de ciertos nutrientes y exceso de otros, produciéndose lo que se llama comúnmente fertilidad del suelo en desequilibrio.

Los nutrientes que se acumulan en el suelo, más allá de ciertos niveles pueden definirse como una contaminación. Por otro lado los contenidos de nutrientes en los fertilizantes químicos son más fácilmente conocidos, fijables y controlables. Además, se pueden manejar más racionalmente ya sea industrialmente o en mezclas, a nivel de la finca y así tener en los suelos concentraciones adecuadas de nutrientes que respondan a necesidades específicas (Arias, 2010).

Lo anterior hace que los costos de transporte y mano de obra para el manejo y aplicación de los fertilizantes sean relativamente más bajos en relación con otros productos de concentraciones más bajas, y con niveles de humedad más altos.

La fuente más utilizada para adicionar materia orgánica a los suelos son los abonos orgánicos provenientes del mismo campo (residuos de cosecha), estiércoles y ciertos desechos industriales entre otros. (Sequi, 1999).

La incorporación de materiales orgánicos de origen animal o vegetal a los suelos, ha demostrado que mejora sus condiciones físicas y por otra, el incremento de la disponibilidad de nutrientes para la biomasa del suelo y para las plantas, como consecuencia de los procesos de descomposición y mineralización que en ellos ocurren.

Los subproductos de origen vegetal y animal (abonos orgánicos) para que sean baratos en el mercado y puedan competir ventajosamente ante los fertilizantes químicos (tomando en cuenta la relación de contenidos nutricionales de ambos productos) deben de estar en una situación de exceso de oferta. Para que tal situación ocurra, implica que un número grande de fincas que están generando estos subproductos no los están reciclando y utilizando como deberían.

La utilización de los residuos orgánicos generados por la actividad agrícola y por el procesamiento de sus productos, es vital para el control de una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales. Los abonos orgánicos son menos solubles, ponen los nutrientes a disposición de las plantas de manera más gradual.

Los abonos orgánicos pueden ser catalogados como mejoradores del suelo ya que tienden a mejorar su estructura, lo que adecua la infiltración del agua, facilita el crecimiento radical, posibilita una mejor aireación y contribuye al control de la erosión entre otros.

1.3 El digestato y los microorganismos eficientes como abono orgánico

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 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).

La co-digestión 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 considerablemente en los últimos tiempos. Además, la menor producción de fertilizantes minerales de síntesis puede ayudar a la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La composición del digestato 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 digestato 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).

De acuerdo con Mandujano (1981), un metro cúbico del digestato producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200 kg N ha⁻¹ de los que estarán disponibles en el primer año entre 60 y 70 kg. El digestato 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

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. El digestato obtenido a partir de la degradación de los cultivos energéticos, residuos de cosechas y subproductos industriales y los productos de desecho en general, tienen un mayor contenido de materia seca, orgánica y micronutrientes que la las suspensiones de estiércol (Mokry, 2008).

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).

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 (Makádi et al., 2008). Además:

- 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%.

Por otro lado, otra de las alternativas de abono orgánico que se presenta actualmente es la aplicación de microorganismos eficientes (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).

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, 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 sinergistas 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 inóculo 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 L.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.

Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se detallan las herramientas utilizadas para determinar las causas fundamentales que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán. También se explica a detalle el diseño experimental a escala de campo utilizado para evaluar el efecto de la aplicación de dos abonos orgánicos mezclados sobre los rendimientos de la cebolla y por último se fundamenta el análisis estadístico realizado y la valoración económica.

2.1 Método de experto para determinar las principales causas que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán

2.1.1 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.

Aquí se determinó los aspectos de mayor influencia. A partir de estos valores reflejados por cada experto se contrastan con los valores de una tabla patrón (tabla 1.1).

Tabla 1.1. Valores de la tabla patrón

| Fuentes de argumentación o fundamentación | Alto | Medio | Bajo |
|--|-------------|--------------|-------------|
| 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 |

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- α) | α | $\alpha/2$ | $Z_{\alpha/2}$ | $(Z_{\alpha/2})^2$ |
|----------------|----------|------------|----------------|--------------------|
| 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 |

2.1.2 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 **Coeficiente 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, $\Sigma\Delta^2$: 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 ΣR_{ij} : suma de rangos asignados a cada deficiencia, según la escala establecida, τ : rango teórico que se obtiene según la expresión:

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

Tabla 1.4 Valoración de las causas por los expertos.

| Causas | A | B | C | D | E | F | G | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Expertos | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 6 | 5 | 1 | 2 | 4 | 7 | |
| 2 | 5 | 3 | 2 | 4 | 1 | 7 | 6 | |
| 3 | 1 | 4 | 5 | 2 | 3 | 6 | 7 | |
| 4 | 2 | 4 | 3 | 5 | 7 | 6 | 1 | |
| 5 | 3 | 2 | 1 | 6 | 4 | 7 | 6 | |
| 6 | 2 | 3 | 6 | 5 | 1 | 4 | 7 | |
| 7 | 3 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 6 | |
| 8 | 2 | 3 | 1 | 6 | 7 | 5 | 4 | |
| 9 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | |
| 10 | 1 | 2 | 4 | 5 | 3 | 7 | 6 | |
| Total | 25 | 32 | 34 | 39 | 35 | 59 | 57 | 281 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----------------|
| $T = \frac{1}{2} * (K + 1) * M$ | | | | | | | | 40 |
| $\Delta = \Sigma R_j - T$ | -15 | -8 | -6 | -1 | -5 | 19 | 17 | |
| Δ^2 | 225 | 64 | 36 | 1 | 25 | 361 | 289 | $\Sigma = 1001$ |
| $W = 0,3575$ | | | | | | | | |

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

El experimento de campo fue realizado en parcelas de 110 m², pertenecientes al Jardín de plantas Ornamentales de la CCS “Nieves Morejón” del municipio de Cabaiguán. Se construyeron canteros de 1,5 x 8.0 m, con distancia entre cantero de 1.0 m. Cada cantero fue dividido en 4 subcanteros de 2.0 m de largo (alcanzando un área 3 m²), de una forma matricial. De esta manera el área total de siembra utilizada fue de 48 m².

El suelo de esta área es un suelo transportado y está compuesto principalmente por arena. Fue caracterizado, desde el punto de vista físico-químico, en el laboratorio de Biogás e Ingeniería Ambiental de la UNISS, cuyos parámetros se resumen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Características físico-químicas del suelo del Jardín de plantas Ornamentales de la CCS “Nieves Morejón” del municipio de Cabaiguán, donde se realizó el experimento de campo.

| | %MS | %MV | %MF | pH | N- NH ₄ ⁺ g/Kg | K mg/100ml | Na mg/100ml | PO ₄ ³⁻ mg/l |
|--------------------|-------|------|-------|------|--|---------------|----------------|---------------------------------------|
| Suelo transportado | 95,31 | 0,90 | 94,41 | 7,02 | 0,02 | nd | 0,10 | nd |

nd: no detectado

2.3 El digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos. Caracterización físico-química

El digestato o lodo anaerobio (semi-líquido) resultante del proceso de digestión anaerobia fue evaluado como abono orgánico en este estudio. El digestato utilizado fue colectado en la planta de tratamiento anaerobio de residuos porcino de “El colorado”, municipio Cabaiguán. Además se utilizó un consorcio de microorganismos producido en el Laboratorio de Agronomía de la UNISS, según la

metodología desarrollada por Ayala y Olivera (2011), a partir de la Cepas madre de los llamados Microorganismos eficientes (ME), **Hlplus**, patentados por el Instinto de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Matanzas.

La caracterización físico-química de ambos abonos orgánicos consistió en la determinación de materia seca (MS), de materia volátil (MS), de materia fija (MF), pH, nitrógeno como nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$), potasio (K), sodio (Na) y fosfato (PO_4^{3-}) por el método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico, según los métodos estandarizados (APHA, 1998. IWA, 2005) y su adaptación en el Laboratorio de Biogás e Ingeniería ambiental de la UNISS (Manual de laboratorio, 2010). Además se terminaron estos parámetros físico-químicos a las mezclas de ambos abonos orgánicos evaluados al 5, 10, y 15 % (v/v).

2.4 Aplicación de los abonos orgánicos (digestato y microorganismos eficientes) al cultivo de cebolla (*Allium cepa*, L. variedad caribe-71)

2.4.1 Diseño de experimentos

La aplicación del digestato de biogás y los microorganismos eficientes al cultivo de la cebolla (*Allium cepa*, L.) variedad caribe-71 se desarrolló en condiciones de campo en el período no lluvioso entre los meses de octubre de 2013 a febrero de 2014. Se utilizó un diseño estadístico de cuadrado latino Tony Crilly (2011), en el que cada tratamiento aparece sólo una vez en cada fila y una sola vez en cada columna (figura 1). Se aplicaron 4 tratamientos (a) aplicación de una mezcla de 5% de digestato y 5% de ME; (b) una mezcla de 10% de digestato y 10% de ME; (c) una mezcla de 15% de digestato y 15% de ME; y (d) se aplicó fertilizantes químicos a las muestras control. Cada tratamiento se evaluó con 4 repeticiones cada uno. En el modelo en bloques aleatorizados, se consideró un factor principal y un factor de control o variable de bloque que se introdujo con el objetivo de eliminar su influencia en la variable respuesta y así reducir el error experimental. (Montgomery, 2004)

Tabla 1. Cuadrado latino para las aplicaciones foliares semanales.

5%: Digestato 5% + Microorganismos eficientes 5%.

10%: Digestato 10% + Microorganismos eficientes 10%.

15%: Digestato 15% + Microorganismos eficientes 15%

C: control tratado con fertilización química

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| C | 5% | 10% | 15% |
| 15% | C | 5% | 10% |
| 10% | 15% | C | 5% |
| 5% | 10% | 15% | C |

2.4.2 Preparación del terreno, atenciones culturales y plantación

Para la preparación se utilizaron las siguientes labores: rotura, cruce, mullido, surcado, contra surcado y labor de surcado para la plantación. No se utilizaron equipos mecánicos, sino que se realizó con tracción animal, arado criollo, asada (guatacas), rastrillos y tenedores para realizar estos trabajos se mantuvo la humedad empleando el riego (superficial por surcos e infiltración) como se indican para este el cultivo de la cebolla (MINAGRI, 1988).

Los bulbos se plantaron a una distancia de 8cm y entre surcos de 30 cm, plantando en cada subcantero 125 bulbos (500 bulbos en cada cantero) por tanto se plantaron un total de 2000 bulbos en todo el experimento.

2.4.3 Aplicaciones de los abonos orgánicos en forma de mezcla a diferentes concentraciones

La primera aplicación de las diferentes mezclas de digestato y el ME se realizaron antes de la siembra, mientras que al suelo del Control se le incorporó Fórmula completa (NPK,): 22-10-6 (22% de nitrógeno, 10% de óxido de fósforo (P_2O_5), y 6% de óxido de potasio (K_2O), con el 62% restante formado por materia inerte). Las siguientes aplicaciones las diferentes mezclas de digestato y el ME se realizaron cada 7 días con mochila de fumigación manual (aplicaciones foliares). Las muestras utilizadas como control fueron fertilizadas químicamente (según

paquete tecnológico para el cultivo de la cebolla) como indican los instructivos técnicos del cultivo (colectivo de autores ACTAF, 2007).

Además se aplicó riego de agua común cada 4 días, y a partir de los 15 días de siembra se aplicó semanalmente (aplicación foliar) Tabaquina preparada para evitar el ataque de ácaros.

2.4.4 Indicadores del crecimiento y desarrollo de la cebolla

Se realizaron 5 muestreos (a los 25, 40, 55, 70 y 77 días después de la siembra). Para seleccionar las plantas a muestrear se colocó una vara de un metro de longitud en el surco del centro (en cada tratamiento) y se midieron las siguientes variables con una cinta métrica y pie de rey: altura de la hoja principal (cm), diámetro delseudotallo (mm) y número de hijos (U). En el muestreo de la cosecha (a los 77 días) se midió: el diámetro ecuatorial de los bulbos (cm), el peso de la muestra del subcantero por tratamiento (g), y el peso total del cantero por tratamiento (kg), con ayuda de una balanza analítica. A partir del peso total del cantero de cada tratamiento se calculó el rendimiento total ($t \cdot ha^{-1}$).

Durante el experimento las atenciones culturales referentes a riegos, escardes, atenciones fitosanitarias, etc., se realizaron según los Instructivos Técnicos del cultivo (MINAGRI 1988).

2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada indicador fueron analizados estadísticamente utilizando la Herramienta “Gráficos de control \bar{x} - R (Montgomery, 2004), apoyado en el software Statgraphics Plus (*versión 5.1*).

A 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.

2.6 Análisis económico

Según la metodología descrita por Terry-Alfonso (1998). El análisis económico se realizó en base a la producción obtenida en $t \cdot ha^{-1}$ para cada uno de los tratamientos utilizados, y se evaluaron los siguientes indicadores económicos.

$$V_p = R \times V_t$$

donde: V_p : Valor de la producción ($\$.ha^{-1}$)

R : Rendimiento agrícola ($t \cdot ha^{-1}$)

V_t : Valor o precio del producto.

$$B = V_p - C_p$$

donde: B : Beneficio neto o ganancia. ($\$.ha^{-1}$)

V_p : Valor de la producción ($\$.ha^{-1}$)

C_p : Costo de producción ($\$$)

$$C/P = C_p/V_p$$

donde: C/P : costo por pesos ($\$$)

C_p : costo de producción ($\$$)

V_p : valor de la producción ($\$.ha^{-1}$)

Capítulo 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Principales causas que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán según el Método de experto

Mediante el uso de esta herramienta, de 15 posibles expertos seleccionados previamente se tuvo en cuenta la opinión de 10 de estos, cuyo concenso según el coeficiente de Kendall (donde $\sum \Delta^2; S = 1001$ $\alpha = 0.01$; $S_{\text{tabulada}} = 737.0$) no mostraron evidencias estadísticas que indiquen la falta de concordancia en el juicio entre estos 10 expertos. De esta manera se determinó que las principales causas que afectan la producción de cebolla en el municipio de Cabaiguán se resumen a continuación según el orden de prioridad establecidos por estos expertos:

1. Afectaciones por plagas y enfermedades al cultivo de la cebolla y sus costos.
2. Dificultad para adquirir fertilizantes químicos y sus costos.
3. Poca información y cultura en el uso de abonos orgánicos.
4. Tipo de tierra que abunda en la zona de Cabaiguán.
5. Comportamiento del clima.
6. Frecuencia de riego y sus costos.
7. Poco conocimiento y cultura en el cultivo de la cebolla en la zona de Cabaiguán.

A pesar de ser las afectaciones por plagas y enfermedades la primera causa de los bajos rendimientos en el cultivo de la cebolla, el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de los abonos orgánicos digestato y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de la cebolla que como se observa fueron las segunda y la tercera causas que abordan los expertos. Sin embargo, estudios encontrados en la literatura y lo realizado en la tesis han demostrado el efecto antagonista tanto del digestato de estiércol porcino como de los microorganismos eficientes sobre los hongos del suelo (Jiménez et al., 2014). Por tanto la aplicación de estos abonos puede favorecer la inmunidad del cultivo de la cebolla.

3.2 El digestato y los microorganismos eficientes como abonos orgánicos.

Caracterización físico-química

La composición química determinada a las diferentes mezclas de los abonos orgánicos empleados como fertilizantes en los experimentos se muestra en la tabla 3.1. A medida que se aumenta la concentración de los abonos (ME y digestato) en la solución (desde el 5 > % hasta el 15%) aumenta la composición de los diferentes elementos químicos respectivamente. El digestato va a suplir las carencias químicas que tienen los ME de algunos elementos, a la vez los ME van a suplir las carencias químicas que tiene el digestato en otros elementos. Esta mezcla de ME con digestato logra obtener una combinación más enriquecida en la composición química de los principales elementos considerados indispensables para un fertilizante (N, P K, Ca Mg, %MV).

Tabla 3.1 Características físico-químicas del digestato y los microorganismos eficientes utilizados como abono orgánico, así como de sus mezclas.

| | %MS | %MV | %MF | pH | N-NH ₄ ⁺ g/Kg. | K ⁺ mg/100ml | Na ⁺ mg/100ml | PO ₄ ³⁻ mg/l | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l |
|----------------------------|-------|-------|-------|------|---|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 5% de digestato+5% de ME | 0,175 | 0,113 | 0,053 | 7,16 | 0,032 | 0,8 | 4,4 | 0,83 | 24,05 | 4,86 |
| 10% de digestato+10% de ME | 0,35 | 0,23 | 0,11 | 7,34 | 0,057 | 1,6 | 3,9 | 1,50 | 40,08 | 14,58 |
| 15% de digestato+15% de ME | 0,53 | 0,68 | 0,32 | 6,61 | 0,085 | 2,0 | 4,0 | 2,17 | 56,11 | 24,3 |

ME: Microorganismos Eficientes

MS: Materia seca

MV: Materia volátil

MF: Materia fija (ceniza)

N-NH₄: Nitrógeno amoniacal

La composición del digestato evaluado en este trabajo resulto similar al obtenido por Botero y Thomas, (1987) quienes publicaron una composición del lodo anaerobio de estiércoles porcino de 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5. El digestato evaluado preparado en las cantidades recomendadas (Mc Caskey, 1990), no presentó mal olor, ni atrajo moscas, a diferencia del estiércol fresco.

3.2 Aplicación del digestato mezclado con ME a diferentes concentraciones, al cultivo de cebolla

El diseño del experimento en la forma de cuadrado latino está dado para que el efecto del tipo de suelo sea el más homogéneo posible en los resultados estadísticos, donde se pueden suprimir cualquier efecto que pueda existir, por demasía o falta de nutriente en el mismo.

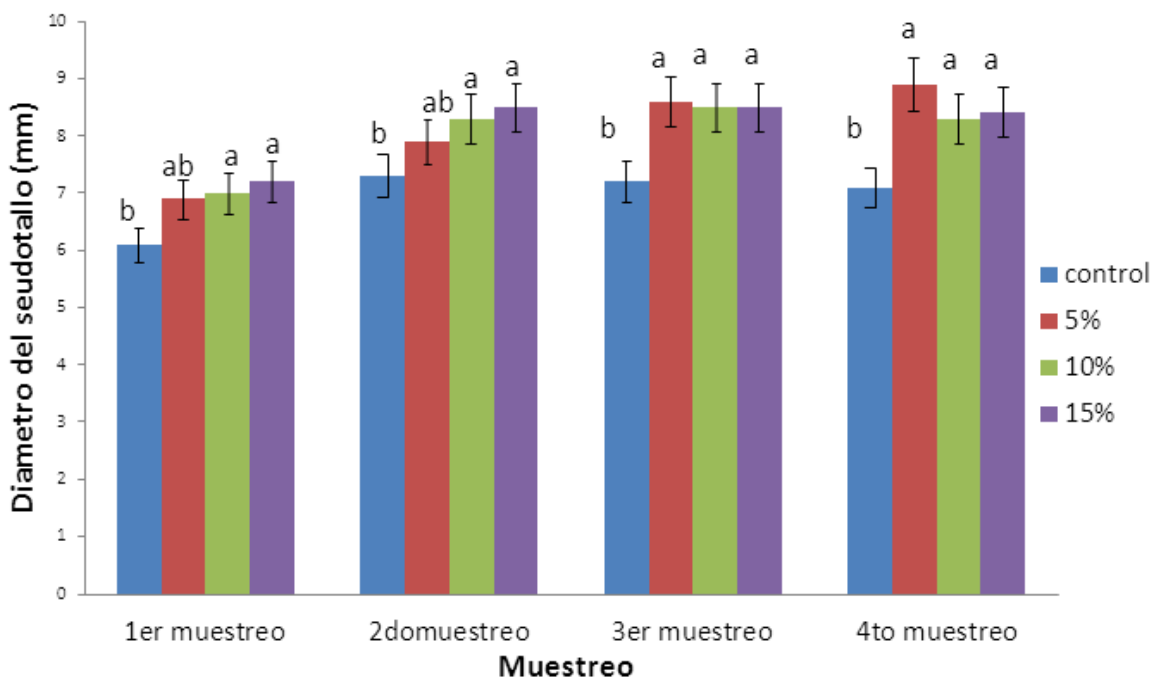


Fig. 3.1 Promedio del diámetro delseudotallo de las plantas de cebollas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME a diferentes concentraciones de 5, 10 y 15 %. Control: plantas fertilizadas con químicos.

Los resultados muestran que a partir de los 55 días de sembrado los bulbos (muestreo 3), comenzaron a observarse diferencias significativas entre el diámetro del seudotallo del control y las plantas abonadas con las mezclas de digestato y ME (Fig. 3.1).

Las plantas que su seudotallo alcanzaron mayor diámetro, fueron las abonada con la mezcla al 5%, las cuales alcanzaron un diámetro promedio de 0.8075 mm. Las fertilizadas con las mezclas al 10 y 15 % de los abonos orgánicos, alcanzaron un diámetro del seudotallo promedio de 0,8025 mm; mientras que las plantas fertilizadas químicamente (utilizadas como control) solo alcanzaron un diámetro del seudotallo de 0,6925 mm.

En cuanto a la altura de la hoja principal, se pudo observar que no hubo diferencias significativas entre las plantas fertilizadas con los abonos orgánicos y químicos durante los primeros días de crecimiento (1er y 2do muestreo). Sin embargo, a partir del 3er muestreo si fue mayor el crecimiento de la hoja principal en aquellas plantas abonadas con la mezcla de digestato y ME.

En el caso de las muestras Control (fertilizadas químicamente), se notó una disminución de la altura de la hoja principal a partir del 3er muestreo. Esto pudo haber estado influenciado por la aparición de la plaga del Minador común (*Liriomyza trifolii*), ya que las larvas se alimentan del mesófilo de las hojas, formando galerías de aspecto blanquecino y las hojas disminuyen su capacidad, lo cual fue observado en algunas plantas de cebolla. Esta plaga se detectó a los 45 días de la siembra mediante la observación y 20 días después se detectó el TRIPS (*Thrips tabaci*), nombre común: piojillo de la cebolla. En el mes de enero es frecuente la invasión que puede proliferar y producir notables daños. Las picaduras de las larvas y adultos terminan por amarillear y secar las hojas. La planta puede llegar a marchitarse si se produce un ataque intenso, sobre todo si éste tiene lugar en las primeras fases de desarrollo de las plantas

Este insecto (*Thrips tabaci*) debe haber influido también en el diámetro del seudotallo de la cebolla, ya que se alimenta de la savia de la planta. No obstante,

las propias características del cultivo determinan que al final de la cosecha (después a los 70 días), la altura de la hoja principal de todas las plantas, disminuya. Las planta que alcanzaron mayor altura de su hoja principal fue las abonadas con la mezcla de Digestato y ME al 10 % (440mm).

Respecto a la altura de la hoja principal, se obtuvieron resultados similares (entre 39 - 44 cm), a los alcanzados por Rodríguez (1998) y Pérez (2006), estudiaron el crecimiento y desarrollo de la cebolla de la misma variedad *caribe 71*, con la aplicación de especies de *Trichoderma* como controlador biológico.

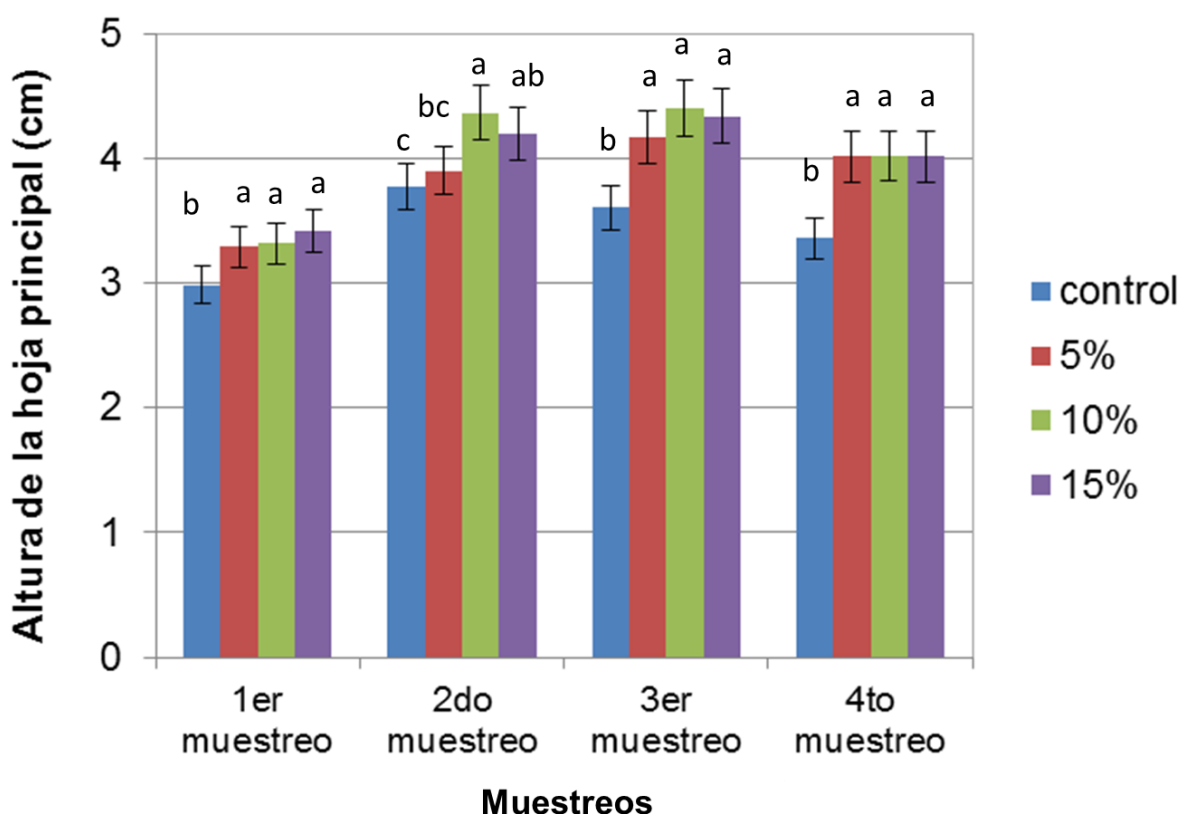


Fig. 3.2 Promedio de la altura de la hoja principal de las plantas de cebollas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME a diferentes concentraciones de 5, 10 y 15 %. Control: plantas fertilizadas con químicos.

En cuanto al número de hijos por planta, no hubo diferencias significativas entre las plantas fertilizadas con químico (control) y las fertilizadas con las mezcla de digestato y ME. Los hijos que se cuantificaron en el primero y segundo muestreo

fueron los que alcanzaron mayor desarrollo del bulbo al final de la cosecha dado por el ciclo vegetativo de la planta. Este indicador también fue afectado por las plagas antes mencionadas.

En cuanto al rendimiento de la cosecha se obtuvo que los abonos orgánicos al 5%, aumentaron significativamente el diámetro del bulbo (Fig. 3.4), pero a todas las concentraciones de los abonos evaluadas (5, 10 y 15%), se aumentó el peso total de cada subcantero y de cada cantero. Los diámetro del bulbo que se obtuvieron en este trabajo son comparable a los obtenido por Stefanova, (2004).

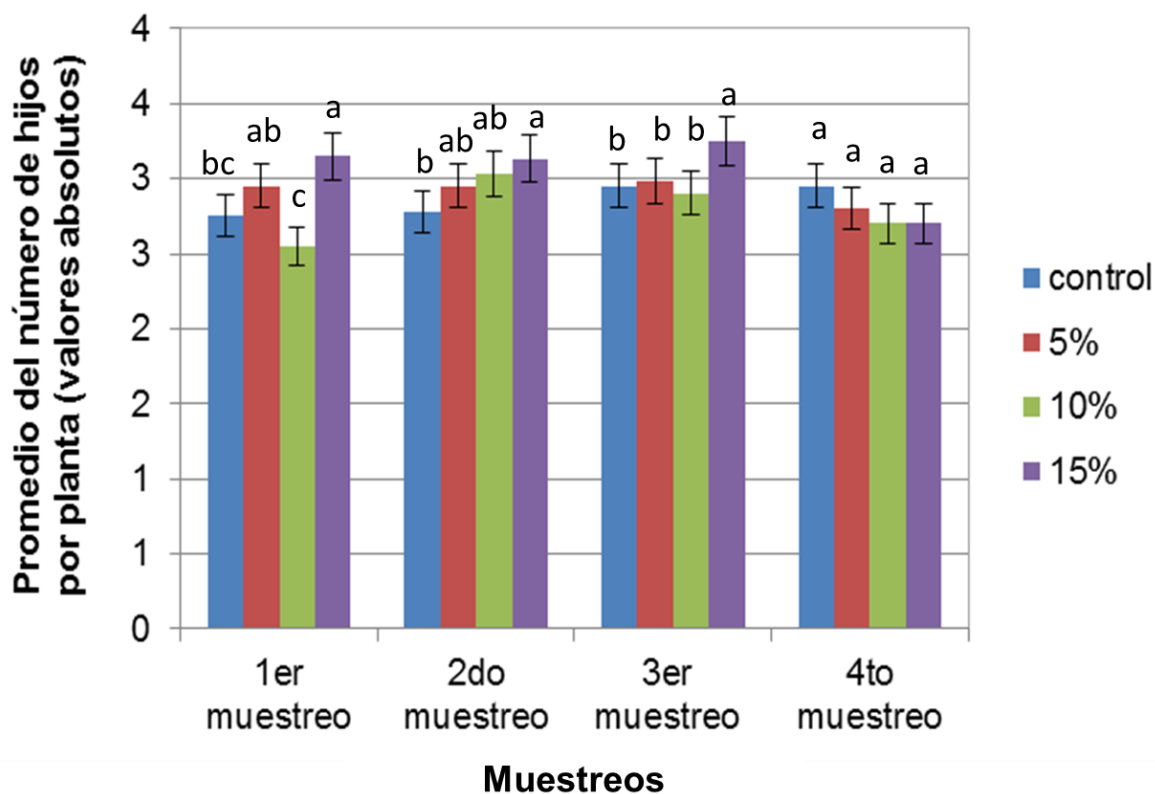


Fig. 3.3 Promedio del número de hijos por planta de cebollas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME a diferentes concentraciones de 5, 10 y 15 %. Control: plantas fertilizadas con químicos.

En cuanto a la variable peso del subcantero, las plantas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME al 5%,10% y 15% no mostraron diferencias significativas entre sí, pero si se observaron diferencias entre estas y las plantas control. Respecto al indicador de peso total del cantero y el rendimiento en toneladas por hectáreas las plantas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME al 5%,10% y 15% no mostraron diferencias significativas entre sí, pero si se notó una gran diferencias en comparación con el control (Fig. 3.5). Por ejemplo, se alcanzó un 3,5 t/ha de diferencia entre el rendimiento de las plantas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME al 5%, y las plantas control.

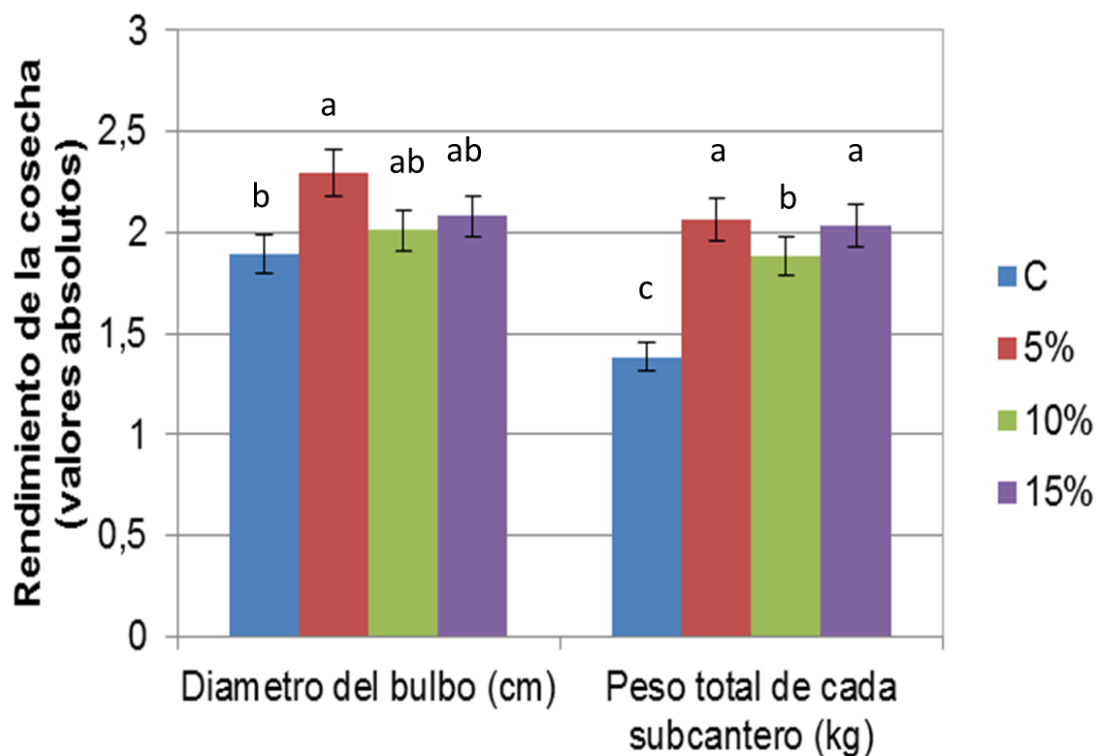


Fig. 3.4 Rendimiento de la cosecha de cebolla, respecto al diámetro del bulbo y el peso de estos, en las plantas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME a diferentes concentraciones de 5, 10 y 15 %. Control: plantas fertilizadas con químicos.

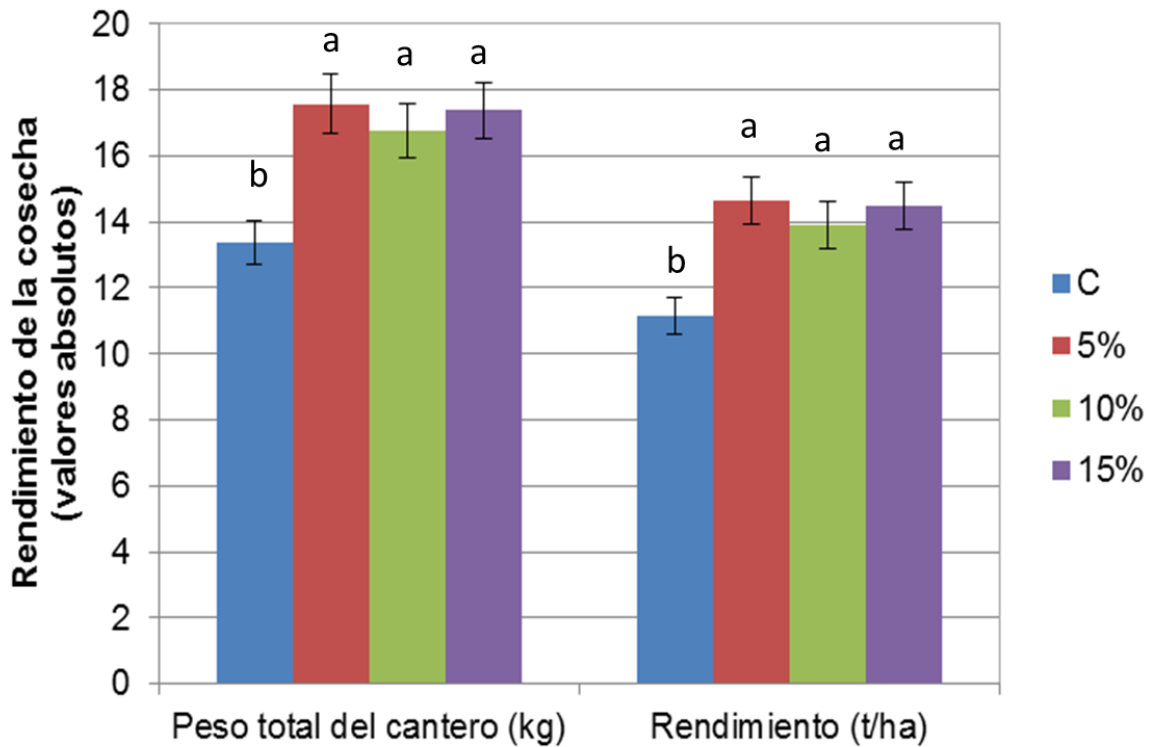


Fig. 3.5 Rendimiento de la cosecha de cebolla, respecto al peso que suman todos los bulbos de un cantero y en cuanto al rendimiento en toneladas por hectárea, en las plantas fertilizadas con la mezcla de digestato y ME a diferentes concentraciones de 5, 10 y 15 %. Control: plantas fertilizadas con químicos.

Por tanto, el rendimiento de la cebolla (en t/ha) se aumentó significativamente con la aplicación de los abonos orgánicos Digestato y ME, llegando a ser superior a las 14 t/ha, lo cual demuestra la efectividad de los tratamientos aplicados ya que según los informes de la Empresa Agropecuaria de Cabaiguán los rendimientos de este cultivo no supera las 12 t/ha (Delgado, 2014).

La fertilización orgánica por tanto resulta una alternativa viable pues según Meneses (2006), en este cultivo existen productores que superan la cifra de 15 tratamientos de químicos sólo en la fase de semillero y un número aún mayor en la etapa de trasplante, lo que hace insostenible la producción del cultivo, con la consiguiente agresión al medio ambiente

3.3 Analisis economico

El análisis económico viene a ser la confirmación de la aplicabilidad económica de los tratamientos empleados en esta investigación. Al analizar la tabla 3.2 se observan las ganancias y el costo por peso de los tratamientos donde hubo diferencias entre las variantes aplicadas de fertilización orgánica y el control.

Los mayores valores en la relación de beneficio sobre costo se obtuvieron cuando se fertiliza con 5% de ambos abonos orgánicos. En general la fertilización orgánica logró ganancias por peso muy superiores al control y superiores al promedio de estos valores obtenidos entre los productores del municipio de Cabaiguán (Delgado, 2014). Es de notar, además, que se reducen en 20 veces los costos por peso con la fertilización orgánica.

Tabla 3.2 Resultados de las ganancias y costos por peso de los tratamientos en el cultivo de la cebolla, variedad Caribe 71.

| | Valor de la Producción (\$/ha) | Ganancias (\$/ha) | Costos por peso (centavos/\$) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Comportamiento en municipio Cabaiguán | 211643,76 | 206695,28 | 0,023 |
| Control | 196475,96 | 192088,48 | 0,022 |
| Digestato 5% + ME 5% | 258381,76 | 257722,20 | 0,003 |
| Digestato 10% + ME 10% | 245154,02 | 244485,67 | 0,003 |
| Digestato 15% + ME 15% | 255383,47 | 254706,32 | 0,003 |

Estos resultados muestran la viabilidad económica de la aplicación de estos abonos orgánicos para contribuir a aumentar rendimientos en el proceso de producción de cebolla a menores costos. El costo actual de la aplicación de fertilizantes químicos, incluyendo plaguicidas e insecticidas asciende a exactamente: \$ 4948,48 MN por hectárea de cebolla sembrada (Manual de fichas

de costos tecnológicos, MINAG, 2011), sin embargo, la aplicación de estos abonos orgánicos tiene un costo al 5% de \$ 659.55 al 10% 668.35 y al 15 % de \$ 677.15.

De esta manera se puede concluir que el análisis de económico realizado, validó el efecto agronómico positivo del uso de estos abonos orgánicos en la producción de la cebolla quienes disminuyen 20 veces el costo por peso, aumentan 1,34 veces las ganancias en pesos por hectareas. Esta aplicación constituyó un ejemplo de práctica agroecológica.

CONCLUSIONES

1. El análisis de documento y los criterio de los expertos mostraron que el bajo rendimiento de la cebolla en el municipio de Cabaiguán esta dado a las plagas y enfermedades, la dificultad para adquirir fertilizantes químicos y sus costos y la poca información y cultura en el uso de abonos orgánicos. Esto hace que la fertilización orgánica sea una alternativa atractiva y necesaria para este cultivo.
2. La aplicación de los bioabonos evaluados en este trabajo (el digestato y los ME), estimularon el crecimiento y desarrollo de las plantas de cebolla (*Allium cepa* var. Caribe-71) y aumentaron el rendimiento de la cosecha, lo cual influye directamente en la disminución de costos del proceso.
3. La composición físico-química de los bioabonos (el digestato y los ME), sobre todo su contenido de macro y micronutrientes, permitió fundamentar su efecto positivo como mejoradores del suelo y abono orgánico en el cultivo de la cebolla.
4. 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 la cebolla (variedad Caribe 71). Esta aplicación constituyó un ejemplo de práctica agroecológica.

RECOMENDACIONES

- Determinar la carga microbiológica de estos abonos orgánicos (desde el punto de vista de su patogenicidad) y si estas cumplen con las Normas de bioseguridad para la aplicación de Aditivos orgánicos.
- Evaluar el uso del digestato de tratamiento anaerobio de estiércoles porcinos en otros cultivos.
- Socializar esta experiencia entre otros productores del municipio de Cabaiguán, provincia y del país.

BIBLIOGRAFIA

- Altieri, M. A. (1993). Agroecología: bases científicas de la agricultura sostenible. CEPAL. Valparaíso, Chile. 184p.
- Altieri, M. Agroecología: Bases Científicas para una agricultura sostenible. Ciudad de la Habana, Cuba. 1997.
- Altieri, M. y Nicholls, C. (2000). Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sostenible. Serie Textos básicos para la formación ambiental. ONU-PNUMA.
- Álvarez, A. (2004). Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos Iideproq. Pág. 13, 64.
- Arias. K, Arnaude de Chacón. O, (2010). Efecto de la fertilización química, orgánica y combinada sobre el rendimiento de la papa variedad granola. *Agronomía Trop.* 60(1): 75-84.
- Banao (1999). Diseño de la técnica de riego por surco en el cultivo de la Cebolla en la zona de Banao. Trabajo de Estancia en la asignatura Riego y Drenaje. Unidad docente desarrollo Agrario y rural). Editorial Félix Varela. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Carrillo J. C. (1985). El Cultivo de Cebolla. FONAIAP DIVULGA No. 18
- Erhart, E & Harti, W. (2010). *Compost use in organic farming*. Recuperado de [tp://www.siduna.una.ac.cr:2087/content/p3783v44n5010g1x/fulltext](http://www.siduna.una.ac.cr:2087/content/p3783v44n5010g1x/fulltext).
- García T., R. (2000). "La Agroecología: ciencia, enfoque y plataforma para su desarrollo rural sostenible y humano". *Revista "AGROECOLOGÍA"*, Ed. LAV, junio. ordan-Comunidad, Uruguay.
- Ghordani, R.; Koocheki, A.; Brandt, K.; Wilcockson, S. & Leifert, C. (2010). *Organic Agricultural and Food Safety and Nutritional Quality Issues*. fulltext.pdf.
- 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.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, Costa Rica.
- Gomiero, T. & Paoletti, M. (2008). *Organic and sustainable Agriculture and Energy Conservation*. content/1821r7378t;4475r/fulltext.pdf.
- 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.
- Huerres, C. y Carballo, N. (1991). Horticultura. Editora Pueblo y Educación. Ciudad Habana.
- Leifert, C. (2010). *Organic Agricultural and Food Safety and Nutritional Quality Issues*.
- Lovieno, P.; Morra, L.; Leone, A.; Pagano, L. & Afani, A. (2009). *Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils*. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 55-561.
- Makádi, M., Tomócsik, A., Lengyel, J. & Márton, Á (2008a). Problems and success of digestate utilization on crops. Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16 October, 2008. CD-ROM (ISBN 3-935974-19-1)
- Martínez, E.; Barrios, G.; Rovesti, L. y Santos, R.: Manejo integrado de plagas, manual práctico. 1ra ed. CNSV-GVC-Entrepueblos. Impreso Grup Bev. Tarragona.
- Mercedes, J., Santana, M., Herrera, L. & Betancourt, L. (2003). Estudio de variantes de Control de *Rhizoctonia solani* Kuhn en el cultivo de la Cebolla (*Allium cepa*, L.) en la zona de Banao. *Revista Centro Agrícola*, 4, 11-15.
- Montgomery, Douglas (2004). Control estadístico de la calidad. Limusa-Wiley. ISBN 9789681862343.
- Morra, L.; Leone, A.; Pagano, L. & Afani, A. (2009). *Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural*
- Pérez, J. L. (2002). Incremento del valor nutritivo de los 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.
- 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.
- Seoáñez, C. M. (2000). Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona. p. 120
- Sequi, P. 1999. Usos de los fertilizantes orgánicos: una estrategia a nivel mundial para la agricultura y para el ambiente. Conferencia No. 4, del XV Congreso

Venezolano de la Ciencia del Suelo, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), estado Lara. 12p.

Sevilla, E., & Woodgate, G. (1997). "Sustainable rural development: from industrial agriculture to agroecology". Local". Universidad La Rábida, del 16 al 20 enero, p. 3-28. Sevilla, E., y González de Molina, M. (eds.) España, p 75-80. 2007

Sevilla, E., y González de Molina, M. (eds.) Toledo, V.M. (1990). "Modernidad y Ecología: la nueva crisis planetaria", en *Ecología Política*, (3); pp. 9-22.

Soliva, M. (2001). Compostaje e ingestión de residuos orgánicos. Estudios de Monografías 21. Diputación de Barcelona, Área de Medio Ambiente, Barcelona, España, p. 72.

Stefanova, Marusia; Ileana Sandoval; María L. Martínez; Irma Heredia; María D. Ariosa; Raquel Arévalo: «Control de hongos fitopatógenos del suelo en semilleros de tabaco con *Trichoderma harzianum*», *Fitosanidad* 8(2):35-38, 2004.

Terry-Alfonso E. (1998). Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Tesis en opción al título de master en ciencias agrícolas. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, Cuba.

Yan, X. y Gong, P. (2010). *The Role of Chemical and Organic Fertilizer on yield, yield variability and Carbon Sequestration – Results of a 19-year experiment*. *Plant Soil*, 331, 471-480. 2.1.