



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

**Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero en Procesos Agroindustriales**

Título: Efectividad de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) en el Banco de Semilla Registrada de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez

Autor: Arlet Marlay Girbau Garcés

Tutor: Ing. Juan Miguel González Rodríguez

DrC. Minerva Almogueva Fernández

Curso 2023

RESUMEN

Entre los productos residuales que genera la agroindustria azucarera la vinaza, procedente de la destilación de alcohol, ha recibido especial atención debido a las ilimitadas posibilidades para su reutilización y disposición, reportándose efectos beneficiosos como aumento en el rendimiento de los cultivos y mejoras en las propiedades fisicoquímicas del suelo como incremento de pH, aumento de la disponibilidad de nutrientes y retención de cationes por el suelo, incremento de la capacidad de retención de humedad, mejoramiento de la estructura física del suelo y proliferación intensa de la población y actividad microbiana, entre otras, por lo que el trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) de la variedad C97-445 en las condiciones del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez. Se montó y condujo un experimento en condiciones semi controladas en diseño aleatorizado donde se emplearon cuatro tratamientos: testigo absoluto, dosis recomendada de NPK, y dosis de vinaza de 60 y 120 m³ ha⁻¹. Se caracterizó la composición química de la vinaza y del suelo y se evaluó el crecimiento de las plantas en diferentes momentos hasta los 60 días de su desarrollo. Los indicadores evaluados de la química del suelo y los fenológicos del cultivo de la caña de azúcar a edades tempranas demostraron que con la aplicación de vinaza estos pueden si no mejorarse, al menos permanecer en rangos que no afectan al suelo ni al cultivo.

Palabras clave: vinaza, caña de azúcar, indicadores fisiológicos, suelo.

ABSTRACT

Sugarcane vinasse, among all agro-industry wastes, has been target of special attention because its unlimited uses, vinasse has been fertilizer substitute and physical-chemical improver of soil properties as pH, nutrients availability, cations and moisture retention in soil as well as microorganism activity. In order to evaluate the effect of vinasse on the sprouting of sugarcane (*Saccharum spp*) of the C97-445 variety under the conditions of the Registered Sugarcane Seed Bank of the Antonio Sánchez Sugar Company a semi-controlled conditions experiment was carried out. A random design with four treatments consisting in NPK recommended, two vinasse doses (60, 120 m³ ha⁻¹) and control. The chemical characterization of vinasse and chemical analysis of soil properties were obtained and development was evaluated in different stages until 60 days of post-germinated plants. The results of experiment showed that chemical of soil properties and growing plans indicators at initial stages if don't were improved don't were negative modified either.

Keywords: vinasse, sugarcane, physiological indicators, soil

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	¡Error! Marcador no definido.
Fundamentos teóricos sobre la utilización de la vinaza en el cultivo de la caña de azúcar	¡Error! Marcador no definido.
1.2. El cultivo de la caña de azúcar. Origen e importancia económica y alimenticia	¡Error! Marcador no definido.
1.2.1. Morfología, taxonomía y composición química de la caña de azúcar	¡Error! Marcador no definido.
1.2.2. Características de la variedad C97-445	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Significado de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar de la industria azucarera	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1. Caracterización de la vinaza que se genera en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez	¡Error! Marcador no definido.
2.2. Caracterización del suelo antes y después de aplicada la vinaza en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez teniendo en cuenta sus propiedades químicas	¡Error! Marcador no definido.
2.3. Determinación del comportamiento de la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 para cada tratamiento	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
3.1. Caracterización de la vinaza que se genera en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Caracterización del suelo en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez teniendo en cuenta sus propiedades químicas.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3. Comportamiento de la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 y de las propiedades químicas del suelo del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez para cada tratamiento	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones	¡Error! Marcador no definido.
Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía	
Anexos	

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a escala mundial existe una gran preocupación por la contaminación ambiental; en este sentido se trata no solo de minimizar el impacto ambiental de las actividades humanas, sino también de buscar soluciones sostenibles para mitigar los efectos de ésta sobre el medio ambiente, reduciendo las emisiones que promuevan alteraciones significativas en el aire, agua y suelo. Sin embargo, hasta ahora se ha hecho imposible evitar la generación de residuos industriales, es por ello que se trata de minimizarlos o reutilizarlos empleándolos de manera racional; reciclándolos o dándoles aplicaciones de carácter secundario que favorezcan el proceso de asimilación o neutralización de los mismos, evitando sus efectos negativos no solo en la salud humana, sino también, sobre el ambiente de forma que se mantengan los equilibrios ecológicos naturales. (Arcila, 2017)

Las destilerías son una de las industrias que más impactan al ambiente, sus implicaciones van desde el cultivo de la materia prima caña de azúcar con el uso de herbicidas y plaguicidas, hasta la destilación fraccionada para la obtención del alcohol etílico, generándose en este último paso, grandes cantidades de un subproducto líquido denominado vinaza. La vinaza presenta una coloración oscura, olor penetrante, pH ácido y concentraciones moderadas de potasio y nitrógeno. Su alto contenido de materia orgánica, asociada a una elevada demanda bioquímica de oxígeno. (Armando, 2013)

Actualmente, la vinaza es utilizada como reemplazo de las fuentes minerales, principalmente de potasio ya que puede contener entre 2,1 y 3,4 kg/m³ de K₂O. Es por eso que en países como España, Egipto, Cuba, México, Brasil, Colombia y Venezuela; las vinazas se han utilizado como fertilizantes en el cultivo de caña de azúcar. Las dosis de aplicación son variables y se preparan de acuerdo a las necesidades de cada tipo de suelo, variedad de caña y a la concentración de la vinaza con que se disponga. En Colombia y Venezuela, para el fertirriego de la caña de azúcar se utilizan entre 50 y 60 m³/ha⁻¹ de vinaza cruda cada 15 días. Otros trabajos señalan que 100 m³/ha⁻¹ de vinaza cruda incrementa los rendimientos de caña en un 23% en soca I y un 65% en soca II, también aumenta el rendimiento de azúcar en 22% en plantillas, 30% en soca I y 63% en soca II. (Vadivel, 2014)

Estudios realizados en Cuba muestran que un riego en exceso con vinaza puede afectar el balance nutricional de las plantas dado su alto contenido de potasio, sugiriendo diferentes dosis de riego en función del tipo de arcilla dominante en los suelos, recomendando $100 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ en suelos con caolinita y $50 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ en suelos con esmécticas. La aplicación de vinaza produce un efecto agregador en el suelo por parte de los microorganismos, debido al alto contenido de materia orgánica y de calcio. Si el fertirriego es excesivo, puede aumentarse el contenido de sodio intercambiable y generar una menor tolerancia del suelo a las sequías. También se ha registrado un aumento del contenido de potasio en profundidad luego de la aplicación sucesiva de vinaza. Actualmente el 100% de la vinaza producida es usada para fertirriego, verificándose un aumento de la actividad microbiana debido al elevado aporte de materia orgánica. (Senatore, 2013)

Un estudio realizado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) "Heriberto Duquesne", municipio Remedios, provincia Villa Clara, muestra este residuo líquido, no cuenta con un apropiado manejo y uso racional. Se emplearon dos dosis de vinaza (60 y $80 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$), la aplicación de NPK recomendado por el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) y un control absoluto (tratamiento sin fertilizar). Se evaluaron los efectos de la aplicación de vinaza sobre indicadores morfológicos del cultivo y algunas propiedades químicas del suelo. Los resultados fueron procesados, a través de un análisis de varianza simple, donde se pudo demostrar que el tratamiento correspondiente a la dosis de $60 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$, mostró los mejores resultados en cuanto a los indicadores de crecimiento evaluados (número de tallos, población, grosor y longitud de los entrenudos). Respecto al suelo, las aplicaciones de vinaza incrementaron los contenidos de fósforo y potasio asimilables, y no influyeron en el valor de pH. Se concluye que la vinaza puede ser utilizada como fuente alternativa de fertilización en el cultivo de la caña de azúcar. (Ruiz, 2011)

En la actualidad, el sector agropecuario se enfrenta a serios desequilibrios naturales, vienen sucediendo en las últimas décadas. La degradación acelerada del suelo agrícola por la falta masiva de criterios conservacionistas, el detrimento de la calidad de los alimentos y el excesivo uso de agroquímicos en el ambiente natural hacen muy necesaria la implementación de alternativas sustentables para la producción. Una gestión para

reducir el impacto es el empleo de fertilización, la cual logra incrementar el rendimiento de las cosechas y mejorar su calidad. La utilización de la vinaza en la agricultura tiene efectos positivos como acondicionador para suelos de texturas pesadas, también se ha comprobado su eficiencia en la recuperación de suelos afectados por alta saturación, o suelos con problemas de salinidad, o en programas de manejo fitosanitario. (Santos, 2017)

En la literatura científica consultada se evalúa el efecto de la utilización de vinaza analizando el impacto sobre las propiedades físico-químicas del suelo y la productividad del cultivo. Sin embargo, son los microorganismos del suelo los responsables de su degradación y pueden ser afectados por su aplicación. Los microorganismos del suelo juegan un rol fundamental en los ciclos biogeoquímicos, contribuyen a la nutrición y salud de las plantas, estructura y fertilidad del suelo, y son esenciales para la productividad y estabilidad de este ecosistema. (Wajswol, 2017)

El empleo de la vinaza tratada en fertirriego, es la alternativa más generalizada a nivel internacional. Es una de las tecnologías más utilizadas por los ingenios azucareros para regar los campos de caña aledaños; sin embargo, es importante mencionar que se deben contemplar algunas medidas antes del uso de este efluente para evitar daños al medio ambiente. Se debe garantizar una correcta aplicación de vinazas al campo con el objetivo de mantener una extracción de residuales en la misma medida que se producen, evitando su descomposición; y, por tanto, deterioro de sus propiedades para su uso en fertirriego. (Condesa, 2016)

Las vinazas pueden ser usadas como abono y mejorador de suelo en cultivos de alta demanda de potasio como la caña de azúcar. Su uso fomenta el crecimiento vigoroso de la planta, aumenta la altura, número y diámetro de tallos; lo cual, incide en una mayor producción de campo. Este producto, dependiendo de la fertilidad del suelo puede sustituir total o parcialmente los fertilizantes químicos. (Mejía, 2012)

Diversos estudios realizados en campos cañeros, donde se han utilizado vinazas como fertilizante, han demostrado que a la fecha no existen impactos negativos en el ambiente. No afectan el pH en el suelo ni la conductividad eléctrica, tampoco la capacidad de

intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica mejora con la aplicación de estas vinazas. (Quiroz G. I, 2011)

La vinaza es potencialmente utilizable como fertilizante agrícola ya que proviene de un producto natural sometido a un proceso en el que no intervienen productos nocivos para el suelo. La opción de usar la vinaza como fertilizante es una alternativa al tratamiento de la misma y que, a su vez, evita que se convierta en un contaminante ambiental. Debido a que su origen es la caña de azúcar, la composición de la vinaza consta principalmente de materiales orgánicos y compuestos minerales que forman parte de compuestos y constituyentes vegetales como ser aminoácidos, proteínas, lípidos, azúcares, ácidos nucleicos, ligninas y hormonas entre otros. Por esta razón, sería lógico pensar que el destino final de la misma sea su regreso al suelo debido a que la naturaleza de forma normal tiene la capacidad de descomponer dichos materiales en procesos microbiológicos y de reciclar los elementos minerales. (Cantarella H., Neto A., y Martinelli L.A, 2012)

La preocupación creciente por la preservación del ambiente lleva a aumentar las restricciones en el vertido de residuos de procesos industriales sin ningún tipo de tratamiento. Como alternativa se ha buscado el reciclado de los residuos como materia prima en otros procesos. Diferentes autores coinciden que la composición de la vinaza la hacen potencialmente utilizable como fertilizante por su alto contenido en materia orgánica, potasio, calcio, nitrógeno y valores de pH de 4 a 5. (Bustamante M.A., Said-Pullicino D., Agulló E., Andreu J., Paredes C., y Moral R., 2011)

Sin embargo, algunos cuidados deben tomarse antes de su uso en fertirriego dado los cambios que se han detectado en los suelos y en el ambiente. La utilización de vinaza para riego en cultivos de caña de azúcar puede sustituir el uso de fertilizantes minerales siempre y cuando ésta no sea aplicada en exceso, ya que si se aplican dosis muy elevadas el rendimiento del cultivo puede disminuir y la salinidad de los suelos puede incrementarse. (Bustamante M.A., Said-Pullicino D., Paredes C., Cecilia J.A., y Moral R., 2010)

El uso de la vinaza y su aplicación en los suelos depende de varios factores entre los que se encuentra el nivel de fertilidad de los suelos, el contenido de K disponible en el suelo,

la textura del suelo, el sistema de fertirriego que se utiliza, el potencial de extracción de potasio de la caña de azúcar y la composición de la vinaza. El riego con vinaza es una práctica bastante difundida en regiones de cultivo de caña de azúcar; se han obtenido resultados satisfactorios en relación a las alteraciones químicas del suelo, al aumento de la materia orgánica, con respecto al pH y a los niveles intercambiables de calcio, magnesio y potasio. Si se aplica adecuadamente, cerca de 150 m³/ha de vinaza equivalen a una fertilización de 61 Kg/ha de nitrógeno, 343 Kg/ha de potasio y 108 Kg/ha de calcio. (Gonçalves de Oliveira B., Nunes Carvalho J.L, Pellegrino Cerri C.E., Clemente, 2013)

El gran volumen generado de la residual vinaza durante la producción del alcohol etílico de la destilería Antonio Sánchez causa problemas de almacenamiento, esto ocasiona que se acumulen grandes cantidades de vinaza en las lagunas de oxidación, contaminando el aire con olores desagradables, debido a la degradación de la materia orgánica, y atrayendo insectos productores de enfermedades en seres humanos. En la actualidad los cultivos de caña de azúcar dependen en gran medida de la fertilización química, la cual se impone sobre los abonos orgánicos. Esto disminuye el nivel de materia orgánica en el suelo, afectando su fertilidad y exigiendo mayor incremento en dosis de fertilizantes. La aplicación de abonos inorgánicos tiende a desarrollar una agricultura no sostenible. Mientras que, la utilización de la fertilización orgánica, activa la microflora nativa de la materia orgánica presente en el suelo mejorando la disponibilidad de los nutrientes.

Este problema se ve multiplicado debido al volumen tan elevado de vinazas producidas en la elaboración del alcohol. La opción de usar la vinaza como fertilizante es una alternativa al tratamiento de la misma y que, a su vez, evita que se convierta en un contaminante ambiental. Ante la producción inevitable y excesiva de este subproducto, y teniendo en cuenta su alto contenido en nutrientes, se propuso la utilización de la vinaza como fertilizante orgánico en el cultivo de la caña de azúcar en la variedad C97-445, para incrementar la brotación de la caña de azúcar y la mejora de las propiedades químicas del suelo y así sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos.

Problema científico

¿Cuál será el efecto de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 en las condiciones del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez?

Hipótesis

Con la aplicación de vinaza en la brotación del cultivo de la caña de azúcar en la variedad C97-445, se podrá incrementar la brotación y la mejora de las propiedades químicas del suelo.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 en las condiciones del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez.

Objetivos específicos

1. Caracterizar de la vinaza que se generan en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez.
2. Diagnosticar las propiedades del suelo antes y después de aplicada la vinaza en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez.
3. Determinar el comportamiento de la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez después de aplicada la vinaza.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Fundamentos teóricos sobre la utilización de la vinaza en el cultivo de la caña de azúcar

La industria azucarera es una de las más importantes a nivel centroamericano debido a su alta gama de productos, su alto nivel de oportunidad laboral y con gran conciencia en la ayuda social. Para mantenerse en actividad, las empresas tratan de aprovechar al máximo sus recursos y disminuir los residuos. La producción de etanol es un producto obtenido por medio de la fermentación alcohólica y la destilación del jugo de caña de azúcar, en el cual se genera un residuo denominado vinaza. La vinaza posee grandes concentraciones de residuos orgánicos y químicos, los cuales necesitan ser manejadas adecuadamente para su desecho o su aprovechamiento (Álvarez Sánchez ,Vázquez Alarcón,Cueto Wong, 2019)

La vinaza es un líquido de color negro con un pH entre 4 y 5, posee un olor dulce y un alto contenido de materia orgánica (24%). Por cada litro de alcohol producido, se obtiene alrededor de 15 a 18 litros de vinaza. La composición química de este producto es variable, y depende de varios factores: según proceso de la fermentación alcohólica, relación fondaje sedimento-vinaza, materia prima utilizada durante la destilación y especies de levaduras utilizadas. La materia prima puede proceder de tres fuentes: melaza (alta concentración), directamente del jugo de los molinos y mixta (jugo + melaza). Las vinazas son altamente corrosivas debido a su pH ácido, por lo que no se recomienda almacenarse en contenedores o recipientes metálicos. (Conadesuca, 2016)

En una destilería de mediano tamaño se producen diariamente un aproximado de 50,000 litros de alcohol base 96°, generando alrededor de 825 m³ de vinaza. Debido al elevado volumen generado, se considera un desecho con gran impacto ambiental en el ecosistema, el cual se convierte en una problemática para los ingenios azucareros. Estos vierten en su mayoría la producción del líquido en cuencas hídricas sin tratamiento previo, lo que causa eutrofización, por exceso de nutrientes en el agua, debido su alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) de hasta 100,000 mg/L, además del color oscuro característico dado por el contenido de melanoidinas, fenoles y derivados furánicos. (Sánchez, 2019)

La producción de bioetanol genera una gran cantidad de subproductos que pueden ser muy nocivos para el ambiente si no se manejan y utilizan adecuadamente. La vinaza es un efluente que se obtiene de la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar, caracterizado por un alto contenido de materia orgánica, potasio y otros elementos. Debido a la elevada carga en materia orgánica su vertido en cursos de agua sin previo tratamiento se torna inviable. A su vez, los minerales que componen la vinaza podrían reemplazar en mayor o menor medida los requerimientos nutritivos de diferentes cultivos. Por dichas razones es que en otros países ya es utilizada para fertirriego por poseer nutrientes para el crecimiento vegetal, como una alternativa al tratamiento de la misma. (Chanfón, 2014)

Los residuos de la agroindustria de la caña azucarera han sido utilizados para la producción de abonos orgánicos debido a su contenido en materia orgánica y mineral. Se han llevado a cabo investigaciones para evaluar las propiedades físico-químicas de los abonos y su evaluación en cultivos. (Valdez, 2010)

La industria azucarera cubana, a la par de su programa de modernización y crecimiento, tienen por reto brindar respuesta a las crecientes legislaciones medioambientales, máximo si se tiene en cuenta las perspectivas del crecimiento turístico y sus exigencias internacionales. Las legislaciones cubanas actuales constituyen una herramienta invaluable para garantizar una armonía entre el crecimiento industrial y la preservación del medioambiente. (Guadalupe, 2016)

El procesamiento de la caña de azúcar en Cuba genera diversos tipos de efluentes líquidos en dependencia de las características del combinado agroindustrial de que se trate, pero tres de ellos resultan ser los más relevantes, tanto por su composición, como por su volumen: efluentes de la producción azucarera en sí, vinazas o aguas residuales resultantes de la producción de etanol y aguas residuales resultantes de la producción de levadura forrajera o levadura torula, como también se le conoce entre ellos, los efluentes provenientes de la producción de azúcar, son los que presentan más alternativas de reducción, pues además de ser los menos agresivos, la solución se facilita dado el hecho de que el agua que acompaña a la caña es superior a la que demanda el

proceso, por lo que una adecuada política de reutilización de esta contribuirá de manera efectiva a la solución del problema. (Norma Cubana -855, 2011)

En el centro del país, en la región de Villa Clara, es operada una planta industrial para el tratamiento, por digestión anaerobia, de las vinazas generadas en el complejo agroindustrial Heriberto Duquezne; única de su tipo en Cuba. Las mismas son tratadas en tres reactores anaerobios de 1300 m³ cada uno. Estos reactores de cama de lodo de flujo ascendente (UASB), por sus siglas en inglés, logrando remover el 70% de la DQO, (Carvajal, 2014)

La Empresa Azucarera Cienfuegos perteneciente al Grupo Empresarial Azucarero (AZCUBA) y dedicada a la producción y comercialización de azúcar y sus derivados, se ha propuesto implantar, mantener y mejorar un Sistema Integrado de Gestión basado en las normas cubanas (NC-ISO 9001), (NC 136), (NC-ISO 14001), con el propósito de satisfacer las necesidades de los clientes con producciones de calidad e inocuas sin comprometer al medio ambiente y la salud de los trabajadores. La Empresa Azucarera Cienfuegos se centra en producir azúcar y derivados de la caña, energía eléctrica y alimento animal, con calidad y costos competitivos, aplicando la ciencia y la técnica y protegiendo el medio ambiente, con la visión de convertirse en líderes productores en su sector, reconocidos por su elevado nivel de información y actualización de las tecnologías. (Pérez, 2022)

La Empresa Azucarera Cienfuegos se encuentra inmersa en diferentes programas ambientales relacionados con el programa de conservación y mejoramiento del suelo, deforestación y pérdida de la diversidad biológica. El programa tiene en cuenta las áreas dedicadas a la producción de caña y las dedicadas a la agricultura no cañera que contempla entre otros aspectos: actitud del suelo para el cultivo; existencia o no del riego y tipo a emplear; rotación del suelo para el caso de cultivos varios; utilización de los residuos industriales: Tienen un programa de aprovechamiento continuo de los residuos de la producción de azúcar que se destinan para el uso de fertilizantes y la creación de alimento animal; utilización de fertilizantes orgánicos: Este forma parte de un programa nacional del Ministerio de la Azúcar (MINAZ) que consiste en la aplicación de los

fertilizantes orgánicos creados localmente, con residuos de la producción como es el compost, muy beneficioso para su aplicación en la siembra de caña. (Castillo Y. S., 2016)

Los desechos orgánicos de la agroindustria pueden utilizarse para la producción de abonos orgánicos, reduciendo significativamente el impacto al ambiente, el riesgo a la salud de productores, trabajadores agrícolas y la población en general. Cuando la agricultura depende del excesivo uso de fertilizantes inorgánicos se altera el equilibrio de la comunidad de organismos del suelo. De ahí, la necesidad de complementar la fertilización orgánica con la química (Nieremberg, 2011)

En la actualidad los cultivos agrícolas dependen en gran medida de la fertilización química, la cual se impone sobre los abonos orgánicos. Esto disminuye el nivel de materia orgánica en el suelo, afectando su fertilidad y exigiendo mayor incremento en dosis de fertilizantes. La escasa aplicación de abonos orgánicos tiende a desarrollar una agricultura no sostenible. Mientras que, la complementación de la fertilización química con la orgánica, activa la microflora nativa de la materia orgánica presente en el suelo mejorando la disponibilidad de los nutrientes. (Catalá, Pía, Martínez, Forés, & Tomás, 2012)

Los fertilizantes químicos son tomados por las plantas en menor tiempo y con más facilidad, pero ocasionan acidificación del sustrato, etc. Por su parte, la nutrición orgánica, aunque actúa de forma indirecta y lenta tiene la ventaja de mejorar la textura y estructura del suelo, favoreciendo la capacidad de retención de elementos nutritivos, pues los libera progresivamente a la medida de la necesidad de las plantas. (Callejas, R., E. Rojo, C. Benavides y E. Kania., 2012)

Considerando que la vinaza se extrae de la caña de azúcar, uno de los factores limitantes de este cultivo se centra en las características del suelo. De acuerdo con los estándares de producción agrícola de caña de azúcar en Ecuador, la forma de manejar el cultivo disminuye la materia orgánica, pues existe una notable dependencia de fertilizantes químicos, así como también la susceptibilidad de los suelos a este tipo de influencia ambiental. (Castro, Prado, Paladines, & Cervantes, 2017)

Los sistemas de transformación de residuos de la caña reducen el impacto ambiental producido por el procesamiento de subproductos de la industria azucarera. El objetivo de

la reutilización de residuos derivados de la agroindustria es la generación de subproductos para reducir el impacto ambiental (Armengol, Lorenzo, & Fernández, 2003). Además, el subproducto obtenido puede ser potencialmente comercializable con alguna finalidad como sustrato de cultivo, como abono orgánico o como fuente de sustancias húmicas (Cacua, 2008)

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada para la producción de alcohol, sea este de melaza, jugo de caña, o la combinación de ambos; también depende del sustrato empleado en la fermentación, del tipo y eficiencia de la fermentación y destilación, y de las variedades y maduración de la caña (Quiñónez, 2012)

En la industria de la caña de azúcar la gestión no eficiente de las vinazas conlleva muchas emisiones de CH₄, H₂S, CO₂, y muchos otros compuestos contaminantes de los suelos. Esta contaminación afecta enormemente las especies vegetales circundantes en el área y además constituye una fuente reproducción para insectos u otros organismos nocivos. En otro nivel, los desechos de la vinaza afectan en el aspecto socioeconómico y urbanístico de las zonas circundantes a los ingenios azucareros. (Lorenzo, Chanfón , 2014)

Su uso como fertilizante es una alternativa que permite su degradación y el reciclaje de sus nutrientes, en sustitución de fertilizantes químicos. Con el objetivo de identificar indicadores para el monitoreo de la aplicación de vinaza al cultivo de caña de azúcar, se evaluaron diferentes parámetros microbianos del suelo en predios de producción de Bella Unión, Artigas, Uruguay. Se estableció una línea de base para estas variables y su relación con variables químicas. Por dos años consecutivos se determinó la abundancia de bacterias heterótrofas, amonificantes, hongos y levaduras, y la actividad microbiana medida como respiración. Las primeras cuatro poblaciones se correlacionaron entre sí y con el contenido de potasio en el suelo. El seguimiento de la aplicación de vinaza permite establecer un protocolo que optimice su aprovechamiento como fertilizante y minimice su impacto ambiental. (Martínez M, Castro, D, Gutiérrez, V, Carrascal, A, Matíz, A, Serna, R, Montoya, J, Caro, 2009)

Durante la producción de etanol a partir de la caña de azúcar se genera vinaza, un residuo líquido rico en materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, azufre y nitrógeno, cuyo pH varía entre 3,5 y 5. Por cada litro de etanol producido se obtienen entre 8 y 13 litros de vinaza que no pueden ser vertidos a cursos de agua sin tratamiento previo. Debido a su origen y composición, el uso de la vinaza como fertilizante de cultivos es una alternativa que permite su degradación y el reciclaje de sus nutrientes, en sustitución de fertilizantes químicos. (García y Rojas, 2009)

Las prácticas agrícolas como el cultivo intensivo, el laboreo y la eliminación de los residuos vegetales han contribuido al agotamiento de las reservas de materia orgánica de los suelos, por lo que la aplicación de materiales como la vinaza puede ayudar a reponer la materia orgánica y mejorar la estructura y fertilidad de los suelos (Bustamante, et al., 2010). El riego con vinaza es una práctica bastante difundida en regiones de cultivo de caña de azúcar en Brasil, donde se han obtenido resultados satisfactorios en relación a la materia orgánica, pH y nutrientes para el cultivo. En Uruguay, en 2012 comenzaron con la aplicación de vinaza al suelo, actividad actualmente autorizada por la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), sujeta a la realización de estudios y al monitoreo de sus efectos sobre el ambiente. (Anliker, 2010)

La economía mundial del azúcar se caracteriza por una combinación de problemas complejos que afectan tanto a los países en desarrollo como a los desarrollados, pues tiene que afrontar desequilibrios recurrentes entre la oferta y la demanda que se reflejan en los cambios que los precios registran constantemente en los mercados; esta situación aunada al incremento de la competencia de los edulcorantes artificiales, ha obligado a la búsqueda de nuevas alternativas de productos o coproductos, constituyendo la elaboración del alcohol, una alternativa viable para robustecer el ingreso económico del país. (Arteaga, O., Chongo, R. y Portieles, J. M, 2012)

En la producción de alcohol se debe contemplar la producción del residuo final líquido, comúnmente llamado vinaza; el cual, ha constituido desde hace mucho tiempo un grave problema debido a su elevado poder de contaminación, ocasionado principalmente por su gran contenido orgánico; sin embargo, con la aplicación de tecnologías adecuadas se

puede aprovechar su uso reduciendo su afectación al medio ambiente. (Arzola, N. C. y García, E., 2011)

Todos los enfoques que se han dado al problema de la vinaza buscan eliminar o atenuar los efectos de la contaminación sobre los ríos, donde tradicionalmente estos derivados han sido descargados. Este problema se ve multiplicado debido al volumen tan elevado de vinazas producidas en la elaboración del alcohol. La opción de usar la vinaza como fertilizante es una alternativa al tratamiento de la misma y que, a su vez, evita que se convierta en un contaminante ambiental. Debido a que su origen es la caña de azúcar, la composición de la vinaza consta principalmente de materiales orgánicos y compuestos minerales que forman parte de compuestos y constituyentes vegetales como ser aminoácidos, proteínas, lípidos, azúcares, ácidos nucleicos, ligninas y hormonas entre otros. Por esta razón, sería lógico pensar que el destino final de la misma sea su regreso al suelo debido a que la naturaleza de forma normal tiene la capacidad de descomponer dichos materiales en procesos microbiológicos y de reciclar los elementos minerales (García y Rojas, 2008).

Si se utilizara como fertilizante, la actividad microbiológica que existe en el suelo actuaría transformando la vinaza y también ésta podría afectar a los microorganismos que se encuentran allí. La preocupación creciente por la preservación del ambiente lleva a aumentar las restricciones en el vertido de residuos de procesos industriales sin ningún tipo de tratamiento. Como alternativa se ha buscado el reciclado de los residuos como materia prima en otros procesos. Un ejemplo de esto es el uso de la vinaza en la generación de metano o en fertirriego. Diferentes autores coinciden que la composición de la vinaza la hacen potencialmente utilizable como fertilizante por su alto contenido en materia orgánica, potasio, calcio, nitrógeno y valores de pH de 4 a 5 (Sanomiya et al., (Korndorfer, 2008)

1.2. El cultivo de la caña de azúcar. Origen e importancia económica y alimenticia

La caña de azúcar es originaria de Nueva Guinea. Los antiguos navegantes la llevaron a India, desde donde se extendió a China y a otras regiones de Oriente. Esto sucedió alrededor del año 4,500 a. C. Mucho tiempo después, en el año 642 a. C. los persas invadieron la India, de la que adoptaron el cultivo de la caña. Por el año 510 a.C. los

soldados del rey persa Darío se referían a ella como esa caña que da miel sin necesidad de abejas. Su cultivo se siguió extendiendo: en el siglo VII d. C. los árabes conquistaron lo que fue Persia y, tan aficionados al dulce, llevaron el azúcar a otro de sus territorios conquistados: el norte de África y fue ahí donde los químicos egipcios perfeccionaron su procesamiento y la empezaron a refinar. (Duran, 2011)

El azúcar llegó a Europa en la Edad Media, donde se usó para condimentar toda clase de alimentos. Los boticarios la utilizaron en la preparación de pócimas y medicinas, además, la recomendaban para curar toda clase de males, incluido el mal de amor. Con el descubrimiento de América llegó el cultivo a nuestro continente y se expandió por todas las zonas cálidas. Su producción comenzó a cobrar importancia y se empezó a exportar a Europa. (Torre, 2023)

Al inicio de las luchas de la independencia, la producción disminuyó, lo que se convirtió en una amenaza para los europeos, por lo que a principios del siglo XIX descubrieron que es posible obtenerla de la raíz del betabel. Actualmente, el azúcar que se consume en América viene de la caña y la de Europa del betabel. Dicen que fue Cristóbal Colón quien, en 1492, en su segundo viaje, introdujo la caña en América, a la Isla de La Española pero estas cañas no prosperaron. Se afirma que en 1501 fueron introducidas plantas que sí crecieron y llegó el éxito de las plantaciones de azúcar a Santo Domingo y que este se multiplicó a lo largo del Caribe y América del Sur. (Fernandez, 2020)

La importancia económica de la caña de azúcar está dada, que es un cultivo de renta importante de los trópicos y subtropicos. Se cultiva en más de setenta países entre los paralelos 40° Norte y 32° Sur, desde el nivel del mar hasta altitudes de casi 1000 metros sobre el nivel del mar, abarca aproximadamente la mitad del mundo. La importancia del cultivo de la caña de azúcar radica en que se constituye en uno de los cultivos de mayor importancia económica, debido al área de cultivo y a la cantidad de mano de obra que ocupa. La superficie cultivada alcanza las 100.000 hectáreas, distribuidas en más de 50.000 fincas en todo el país. Se cultiva principalmente como materia prima para la producción de azúcar, forraje, aguardiente y alcohol carburante, constituyéndose el etanol de caña en fuente alternativa y renovable de energía para el país. (Oscar Joaquín ,Duarte Álvarez, 2019)

La importancia de la caña radica en que es la materia prima de la industria azucarera, con un consumo per cápita promedio al año 36.7 kg de azúcar; la Ley de Desarrollo Rural Sustentable identifica a la caña como un cultivo básico. Se ubica como uno de los 10 cultivos más consumidos por las familias, cuyo gasto en productos derivados de la caña de azúcar representa el 0.5% del gasto total de alimentos, bebidas y tabaco. Actualmente es el 6° productor mundial de caña con 56,672,829 toneladas, según datos reportados en 2017; por otra parte, es el cuarto exportador de confitería a nivel internacional, cuyas exportaciones representan 6.07% del total mundial. (Nayarit, 2018)

El cultivo de la caña de azúcar está considerado como uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, por su importancia en la alimentación humana que le ha mantenido como prioridad en su producción, la cual se circunscribe a la región intertropical. Para el año 2017, la producción mundial de caña de azúcar alcanzó 1.841.528.386,00 de toneladas; los primeros 10 productores abarcaron el 83,5% de la producción mundial de este importante rubro, donde su cultivo es una tradición. La caña de azúcar es un cultivo tradicionalmente empleado como fuente de sacarosa. Investigaciones recientes muestran propiedades de la caña de azúcar que inciden en la salud de los consumidores. (Gonzalez, 2014)

La caña de azúcar es una materia prima muy versátil y competitiva, del que se obtiene y permite muchos finales elaborar desde jugos, azúcar en polvo o panelas, fibras, alcohol para la elaboración de licores, alcohol para usos industriales o antisépticos, papel de la pulpa, pellets de residuos sólidos para estufas o cocinas domésticas, fertilizantes orgánicos para la agricultura, piensos y hasta biocombustibles como el etanol. Así de amplio, versátil y útil resultan los productos y subproductos de la caña de azúcar, que permiten utilizar toda la planta y en cada fase de su procesamiento agroindustrial obtener variedad para abastecer diferentes mercados. (Medina, 2022)

La caña de azúcar es una buena fuente de antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales; posee efecto profiláctico contra bacterias y virus, efecto protector contra la caries y es una excelente bebida deportiva. Es importante generar investigación que contribuya a identificar nuevos compuestos en la caña de azúcar con actividad funcional. Como alimento fuente de energía y mucho sabor en la alimentación diaria, se estima que

en promedio cada persona consume 24 Kg de azúcar al año, en gran variedad de alimentos y bebidas. Sin embargo, en termino de regiones, América Latina y el Caribe duplica este valor consumiendo en promedio por persona 49 kg de azúcar, mientras que África consume apenas 17 kg por persona al año, cifra que disminuye más aún a 12 Kg por persona en la parte subsahariana. (Martínez, 2010)

1.2.1. Morfología, taxonomía y composición química de la caña de azúcar

Planta: La caña de azúcar es una gramínea tropical. Es un pasto gigante que tiene un tallo macizo de dos a cinco metros de altura y entre cinco a seis centímetros de diámetro, tiene hojas largas, lampiñas y flores purpúreas en panoja piramidal. Todo en esta planta se puede utilizar. Las tierras en donde se cultiva tienen que ser lugares calientes y soleados para que el fenómeno de la fotosíntesis se oriente hacia la producción de carbohidratos, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. Durante su desarrollo, la siembra requiere de una adecuada cantidad de agua para que se permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes. El periodo de crecimiento varía entre los 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de caña y de la zona. (Solís-Fuentes, 2011)

Tallo: Este es el órgano de más importancia en la planta de la caña de azúcar *saccharum officinarum*, ya que es en el tallo donde se acumulan los azúcares (Figura 1 y Figura 2); la cantidad, el grosor, color y el modo de desarrollo o crecimiento dependen de la variedad. La extensión de los tallos, depende ampliamente de las características ambientales del lugar y de la variedad que se utilice y el manejo se realice. Los tallos son cilíndricos, erectos, fibrosos y compuestos de nudos y entrenudos, la altura varía desde 1,0 hasta 5,0 m, y el diámetro varía de 1,0 cm a 5,0 cm. Los tallos se pueden clasificar de la siguiente manera: primarios, secundarios o terciarios. Las partes constituidas del tallo se presentan en la figura 1 y sus componentes morfológicos en la figura 2. (Castillo F. M., 2017)

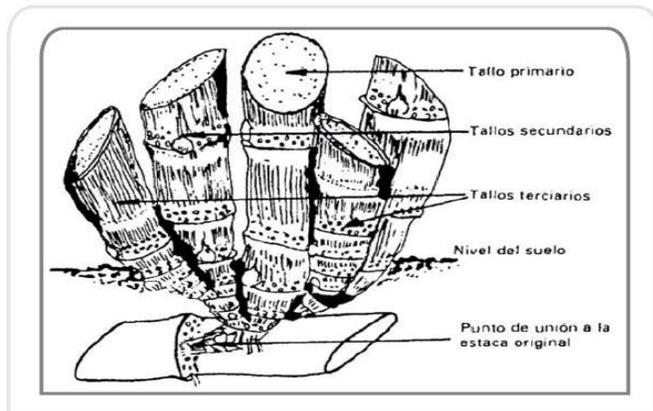


Figura 1. Tallos de la caña y su diferenciación

Fuente: Osorio, G. (2007)

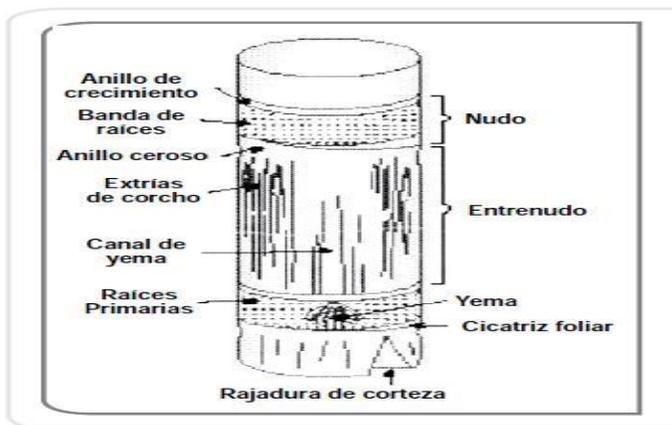


Figura 2. Componentes morfológicos que identifican el nudo y el entrenudo del tallo

Fuente: Osorio, G. (2007)

Sistema radicular: El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo. las raíces se encuentran en los primeros 20 cm de profundidad del suelo y el 80% de ellas se concentran en un radio de 60 cm de la cepa y 60 cm de profundidad. Esta forma la porción interna subterránea de la planta; el sistema radical es el órgano que se encarga de sostener y a su vez es el medio utilizado para la toma de nutrientes y agua del suelo por medio de la absorción (ver Figura 3). En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces: (Grudemi, 2019)

- Raíces primordiales: estas corresponden a las raíces de la primera estaca sembrada inicial u originalmente; las raíces primordiales se caracterizan por ser y

ramificada, estas tienen solo tres meses de utilidad ya que solo ese tiempo dura su periodo de vida.

- Raíces permanentes: Estas surgen de los anillos de crecimiento de los brotes nuevos, son bastantes y de formas gruesas, crecen rápidamente y su multiplicación se da con el crecimiento de la planta. Su cantidad, su tamaño, su longitud y su edad se dan de acuerdo a la variedad a la que pertenezca la planta y también de las condiciones climáticas, La raíz de la caña es fasciculada.

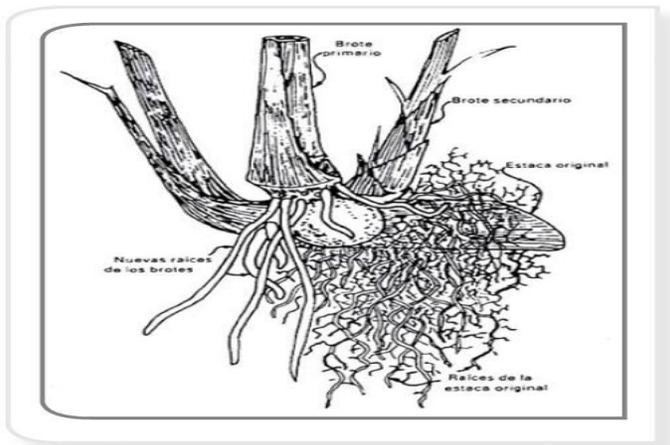


Figura 3. Sistema radicular de la caña de azúcar

Fuente: Osorio, G. (2007)

Hojas: Esta parte de la planta se forma en los nudos y se reparte de forma alterna en el tallo a lo largo de su extensión. Cada una de las hojas están formadas por la lámina foliar, por la yagua y la vaina. Cuando se la fusión de estas dos partes se le da el nombre de lígula, la cual posee en su extremo una aurícula que desarrolla una variable pubescencia. Lo que conocemos como lámina foliar es esa parte de más importancia en la fase de fotosíntesis, la ubicación de esta en la planta depende de la variedad. La lámina foliar posee a lo largo de su forma la nervadura central y posee algunas protuberancias de manera aserrada en el borde. (Nogueira, 2022)

Dependiendo de cuál sea la variedad se define en la planta el color de la hoja, en algunos casos puede ser verde claro y variar a verde oscuro. Aspectos como la extensión y el anchor también es diferente de acuerdo a la variedad. (Figura 4). (Nogueira, 2022)

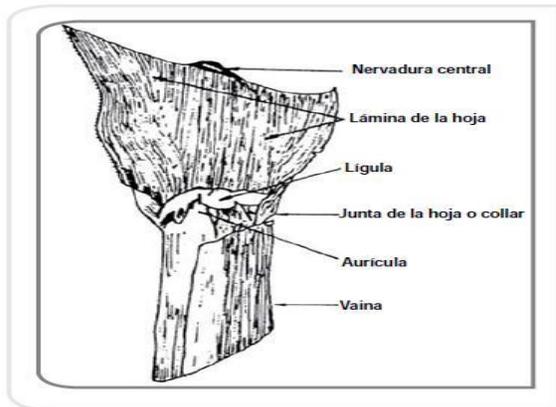


Figura 4. Partes de la hoja de la caña

Fuente: Osorio, G. (2007)

Composición química: La composición química de la caña de azúcar es uno de los elementos más importantes que nos permite conocer su valor nutritivo. El estudio de cada uno de sus indicadores, así como las variaciones que se pueden producir por diversos factores (Lemus, 2016)

Taxonomía (Lemus, 2016)

Nombre Científico: *Saccharum officinarum*

Nombre vulgar: Caña de azúcar

Reino: Plantae

Subreino: Cormobionta

División: Magnoliophytina

Clase: Liliatae

Subclase: Commelinidae

Orden: Poale

Familia: Poaceae (Gramineae)

Tribu: Andropogonoidea

Género: *Saccharum*

Especie: *Saccharum officinarum* L. *Saccharum robustum* Jesw. *Saccharum spontaneum* L. *Saccharum barberi* Jesw. *Saccharum sinense* Jesw

1.2.2. Características de la variedad C97-445

La variedad C97-445 su origen es de la provincia de las Tunas , sus progenitores son C 568 – 75 x PC ,es una variedad de buen despaje y buena germinación, de cierre de campo temprano y de escasa floración, tolera los periodos secos, no se deteriora significativamente en ciclo largo de cosecha, supero en producción la variedad testigo en los ciclo largo y medio sin diferencia significativas en contenidos azucarero en ninguna cosecha lo que aconseja su uso en ambos ciclos. (Lara, 2020)

Principales características botánicas según (Castro, 2012), color del tallo: morado con visos amarillos y verdes, hábito de crecimiento: erecto, contenido de cera: poca, forma de entrenudo: cilíndrico, forma de la yema: romboidea, vellosidad en la vaina: contenido medio y calidad interna del tallo: poco corcho y meollo.

Tabla1. Época de plantación y cosecha según (Mora, 2015)

Plantación	Cosecha
Mayo - Junio	Diciembre - Enero (18-20 meses)
Septiembre - Diciembre	Febrero - Marzo (15-17 meses)

Comportamiento Fitosanitario: Ha sido muy poco afectada por el carbón de la caña de azúcar (*Ustilago scitaminea*) bajo condiciones naturales (área natural y banco de semilla) y resultado resistente en la inoculación artificial, ante la Roya (*Puccinea Melanocephala*). Por los resultados obtenidos se recomienda extender en el suelo pardo de la provincia de Las Tunas y evaluarla en extensión en los restantes, no ha sido estudiada para condiciones extrema de stress ambiental, pero tolera épocas secas. (Mendoza, 2015)

Comportamiento del Rendimiento Agrícola: Este parámetro es uno de los más importantes al evaluar un experimento porque es uno de los factores determinantes en la producción azucarera de las Unidades Empresariales de Base (UEB), aunque existe diferencias significativas entre las nuevas variedades evaluadas con respecto al testigo, el mayor rendimiento lo obtuvieron las variedades C 97- 445, C95-414 y, C 95-416 por encima del testigo, pudiendo estar influenciado este resultado por el peso de los tallos,

que en todos los tratamientos superaron al testigo, con diferencia significativa, correspondiendo el mayor peso al de mayor rendimiento agrícola, al igual que la longitud del tallo y la mayoría de los parámetros fisiológicos evaluados, Téllez y Andino, (1999) plantearon que la respuesta en el rendimiento agrícola se debió fundamentalmente al número de tallos molibles y con menor incidencia el peso de los tallos. (Perez F, Fernandez H, 2016)

Comportamiento Agropecuario: El comportamiento agroproductivo de la variedad C97-445 en tres localidades de la provincia Holguín. Para ello, se establecieron experimentos de campo y se emplearon como controles los cultivares C86-12 y C86-503. Se evaluó la reacción de la variedad C97-445 ante la roya común y el carbón en condiciones naturales, así como las variables de cosecha: rendimiento de caña (t ha⁻¹), contenido de pol en caña (%) y rendimiento de pol (t ha⁻¹). Se efectuaron análisis de varianzas factoriales a las variables de cosecha y se realizó la prueba de Tukey cuando las diferencias fueron significativas. La interacción Localidad x Cultivar resultó significativa para la variable pol en caña. Los mejores resultados en rendimiento de pol se alcanzaron en la localidad de Santa Inés. Los cultivares C97-445 alcanzaron resultados agroproductivos similares al control C86-12, además, no resultaron afectados por roya ni por carbón en condiciones naturales. (Bernal, 2017)

1.3. Significado de la vinaza como fertilizante en la brotación de la caña de azúcar de la industria azucarera

La etapa de brotación comienza alrededor de los 35 a 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos a partir de las articulaciones nodales que se encuentran en la base de los tallos primarios. Los factores que favorecen el ahijamiento son: la variedad, los días de larga duración y alta intensidad luminosa, una temperatura cercana a los 30°C es la óptima, buenas condiciones de humedad en el suelo y buen nivel de nitrógeno. Es una fase de gran importancia en la definición del rendimiento, ya que en su transcurso se establece el número potencial de órganos cosechables. Además, durante esta fase ocurre la generación del sistema radicular y definitivo del cañaveral. (Valle, 2012)

La propagación comercial de la caña de azúcar se realiza por medio de esquejes, siendo importante proporcionarle todas las condiciones favorables al momento de la siembra

para obtener un mayor porcentaje de brotación asegurando el mayor número de plantas llevadas a campo en óptimas condiciones. La germinación de la semilla forma parte del proceso inicial que implica la reactivación del crecimiento del embrión y su continuo desarrollo hasta producir una planta potencialmente independiente. (Filho, 2013)

Sin embargo, en caña de azúcar el término «germinación» también se utiliza para referirse al grado de brotación de las yemas de los esquejes plantados. La adición de vinazas corresponde a una fertilización orgánicas, es lógico esperar los efectos que generalmente son atribuidos a la materia orgánica cuando se incorpora a los suelos, como son incremento de pH, aumento en la disponibilidad de nutrientes de retención de cationes por el suelo, incremento de la capacidad de retención de humedad y a un mejoramiento de la estructura física del suelo, durante los primeros 30 días se ha observado una proliferación intensa de la población y actividad microbiana la cual posteriormente decrece. Asimismo, se ha observado una reducción en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo debido a una fijación pronunciada en función del crecimiento acelerado de microorganismos y una fuerte desnitrificación debido a las condiciones anaeróbicas prevaletentes. (Gloria, N.A. da y Filho, J.O., 2016)

La brotación es el proceso en el cual se desarrollan los órganos primordios latentes en la yema pasando al estado activo de crecimiento y desarrollo. El éxito de esta fase radica en la magnitud, ritmo y uniformidad de la emergencia, como también en el logro de una adecuada distribución espacial de los tallos primarios en el surco. Emergencias pobres y prolongadas afectan el cumplimiento efectivo del ahijamiento y finalmente la producción del cultivo de la caña de azúcar. Los cultivos plantados en época de seca necesitan la aplicación de fertilizante apropiados como la vinaza para la conservación del agua en el suelo, estimulación de la brotación y protección contra plagas y enfermedades, lo que posteriormente repercute en el desarrollo del mismo. (González-Hernández*, Baigorriá-Padrón, Pardo-Mora, Delgado-Padrón, 2020)

La brotación de la caña de azúcar requiere de condiciones adecuadas de temperatura y humedad. Para las variedades subtropicales resultan óptimas las temperaturas del aire entre 26-32°C y una disponibilidad hídrica sin limitaciones. La capacidad potencial de

brotación de la caña semilla, determinada en condiciones óptimas ha sido poco estudiada. La calidad de la semilla influye decisivamente en su capacidad potencial de brotación y, con condiciones ambientales óptimas, las estacas de una yema presentan el mejor comportamiento. (Romero, 2016)

Existe un modelo exponencial para caracterizar la brotación y derivar parámetros como: tasa media y máxima de brotación y t_{50} y t_{90} (días para la brotación del 50% y del 90% de las yemas), con temperaturas de 26,7°C, y encontraron que a menor temperatura hay menores tasas y menor porcentaje de brotación y una mayor duración de esta fase. La capacidad potencial de brotación de dos variedades de caña de azúcar hidrotermotradas (TUCCP 77-42 y TUC 72-16), trabajando a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ y con siete edades de la semilla. Encontró valores de t_{50} desde 4,8 días para estacas de 7,5 meses hasta 9,4 días en estacas de 14,3 meses, decreciendo la tasa media de brotación desde $1,2\% \times \text{día}^{-1}$ hasta $0,77\% \times \text{día}^{-1}$ al aumentar la edad de las estacas. Sin embargo, el porcentaje final de brotación potencial resultó independiente de la edad y de la variedad. (García, 2005)

El autor señala que la edad de la semilla fue el factor de mayor influencia en la dinámica de la brotación potencial, afectando la velocidad y la duración de la fase, no así el porcentaje final. Los trabajos realizados en diferentes lugares del mundo demuestran que la caña semilla proveniente de micropropagación presenta una mejor brotación y macollaje, e incluso mayores producciones de caña por hectárea, que las registradas en material propagado por el sistema convencional por estacas, ya sean estas termotradas o no. (Dillewjin, 2012)

La capacidad potencial de brotación de caña semilla de alta calidad obtenida por la fertilización con vinaza (50°C , 2 h), en tres variedades (LCP 85-384, CP 65-357 y CP 48-103) y en tres edades (7, 10 y 12 meses). Los resultados indican que, cuando las condiciones de temperatura y humedad son óptimas para la brotación de la caña de azúcar. (Scandalariis, J.; E. R. Romero y M. Roncedo, 2019)

Este vigor se manifiesta por una mayor velocidad de la brotación (mayor tasa media y máxima de brotación potencial) y una menor duración de la fase (menor t_{50} y t_{90}). Estos resultados son de gran interés, donde las condiciones ambientales permiten el

crecimiento de la caña de azúcar por un período que no supera los nueve meses. Por este la velocidad y eficiencia con que se cumplen las fases de brotación, macollaje y crecimiento inicial de la caña, resultan decisivas para lograr establecer rápidamente una buena población de tallos que esté en condiciones de aprovechar eficazmente los meses que presentan la mejor oferta ambiental para el crecimiento (diciembre-marzo), y de esta manera lograr un elevado rendimiento cultural. (Yang ,S. J and J.B Chen, 2018)

Así, con el uso de semilla micropropagada y eligiendo la época de plantación y las prácticas de manejo que favorezcan las mejores condiciones para la emergencia, podría lograrse una brotación más rápida y uniforme con el consiguiente beneficio en la producción cultural de los cañaverales tucumanos. La edad de la estaca es otro factor que también afecta significativamente a las variables de la dinámica de la brotación potencial, aunque su contribución a la varianza total de las mismas, fue menor que la del origen. En contraste, el porcentaje final de brotación potencial resulta, en general, independiente del origen y de la edad de la caña semilla. (Cassalett Dávila, C.; J. Torres Aguas y C. Echeverri, 2009)

La fertilización con vinaza de los suelos donde se encuentra cultivado caña de azúcar se reportan efectos beneficiosos como aumento en el rendimiento de los cultivos y mejoras en las propiedades fisicoquímicas del suelo como incremento de pH, aumento de la disponibilidad de nutrientes y retención de cationes por el suelo, incremento de la capacidad de retención de humedad, mejoramiento de la estructura física del suelo y proliferación intensa de la población y actividad microbiana (Christofolletti, 2013)

La vinaza posee compuestos como fenoles y polifenoles que pueden causar efectos negativos en los microorganismos del suelo. Desde el punto de vista ambiental el N y el P aportados por la vinaza podrían causar eutrofización de aguas superficiales. En cambio, el K no causa problemas de contaminación cuando es erosionado de los suelos, no es tóxico y no causa eutrofización en los sistemas acuáticos (Rabuffetti, 2017)

Por tales razones, es necesario caracterizar los residuos orgánicos como la vinaza a fin de evaluar la contribución de este residuo al suelo, observando los diferentes efectos que puede producir en el ambiente y en la producción. Existen diversas formas de aplicar la vinaza en el suelo. En Uruguay la vinaza se utiliza pura, siendo aplicada mediante

cisternas o regadores (cañones). (Pino A, Casanova O, Hernández J, Takata V, Panissa G, 2017)

Para esta práctica se toma en cuenta la humedad inicial de suelo para que el líquido infiltre en el terreno y así evitar el escurrimiento a cursos de agua. Al mineralizarse los compuestos orgánicos de la vinaza mediante un proceso microbiano, los nutrientes siguen distintas dinámicas en el suelo. En el caso de P, tiene una movilidad relativamente baja en los suelos y con el paso de tiempo se retrograda a formas cada vez menos solubles formando compuestos de alta estabilidad química. (Bautista-Zúniga F, Durán-De Bazúa C, Lozano R, 2016)

Sin embargo, el N orgánico es mineralizado formando NH_4^+ y luego NO_3^- como producto final, el cual no se acumula en el suelo ya que su carga negativa impide asociarse al complejo humus arcilla del suelo. A diferencia del N, el K está asociado esencialmente a la fracción mineral del suelo bajo formas inorgánicas y su dinámica responde a equilibrios químicos entre las distintas fracciones presentes, por esta razón el K se encuentra inmediatamente disponible para las plantas ya que su liberación no depende de la mineralización de la vinaza. Sin embargo, es de importancia conocer aspectos de la dinámica del K en los suelos, como la incidencia de la mineralogía de la fracción arcilla en su disponibilidad para las plantas, a los efectos de interpretar los resultados del agregado de K al suelo proveniente de la aplicación de vinaza. (Casanova O, Takata V, Cejas V, Panissa, 2019)

El uso de estos residuos o subproductos agroindustriales tiene como finalidad, convertir un material ambientalmente peligroso por su alta carga de nutrientes y materia orgánica, en un producto con valor económico, y así colaborar en mantener la sostenibilidad del recurso suelo. Contar con datos nacionales de las características nutricionales de la vinaza contribuye a un manejo óptimo de este residuo y a garantizar la inocuidad de los alimentos producidos bajo estos sistemas, minimizando su impacto y promoviendo su uso racional. Por otra parte, el agregado de nutrientes con la vinaza -como el K- permitirá sustituir del uso de insumos importados, como los fertilizantes potásicos, asegurando un reciclaje y uso más eficiente de este nutriente dentro del sistema. (Chaves, 2018)

La utilización de vinaza como fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar tiene como finalidad convertir un residuo de la industria azucarera, en un producto con cierto valor agronómico y económico, y así colaborar en mantener la sostenibilidad de los recursos suelo, agua y aire. La vinaza es un residuo líquido obtenido de la elaboración de etanol, que contiene materia orgánica (MO), potasio (K), nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P). Según datos preliminares obtenidos en Uruguay su pH se encuentra en el orden de 6 unidades. La cantidad de nutrientes presentes en la vinaza depende de la planta que le dio origen y no contiene elementos tóxicos ni metales pesados. Dentro de las plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) los nutrientes que se encuentran en mayor proporción son K y N, seguidos por Ca, S, P y Mg, manteniéndose esta proporción y orden en la vinaza. El contenido de nutrientes y especialmente K en la vinaza es variable, observándose rangos de K entre 960 y 3100 mg L⁻¹. (Bautista-Zúniga F, Durán-De Bazúa C, Lozano R, 2016)

Trabajos realizados en diferentes partes del mundo indican que se generan entre 10 y 18 litros de vinaza por litro de alcohol producido (9-12). Sin embargo, para las condiciones del Uruguay la relación vinaza-alcohol ronda por los 6-7 litros de vinaza por litro de alcohol producido. En Uruguay, la aplicación de vinaza en la producción de caña se realiza de forma directa y pura sobre el suelo, en donde los nutrientes pueden ser reciclados a través del sistema suelo-planta. Por su alto contenido de K, cuando se riega el suelo con vinaza, el contenido de K intercambiable aumenta, habiéndose encontrado una alta correlación entre la disponibilidad de K y la producción de caña de azúcar. Por otra parte, el exceso de K disponible para las plantas en los primeros 20 cm del perfil puede provocar un aumento de cenizas en el jugo de caña, y como consecuencia una disminución del rendimiento industrial, lo que se asocia al consumo de lujo de este macronutriente. También una aplicación excesiva puede ocasionar problemas de salinidad en la raíz por la precipitación de sales potásicas y un desbalance nutricional provocado por el impedimento de absorción de otros iones. (Rabuffetti, 2017)

La fertilización de la caña de azúcar tiene como objetivo proveer al cultivo los elementos nutricionales que el suelo no le puede ofrecer en forma disponible, para su buen

crecimiento, desarrollo y producción. Esta práctica debe asegurar la correcta aplicación de las dosis y fuentes de nutrientes, en el tiempo y localización más adecuados, buscando obtener productividad de óptima rentabilidad, con el uso eficiente de los insumos y protección del medio ambiente. (Meneses, 2017)

El manejo adecuado y sostenible de los nutrientes y la fertilización conlleva el conocimiento y manejo adecuado del suelo para asegurar la fertilidad y el aprovechamiento máximo de los nutrientes aplicados. Los factores del suelo, el manejo del cultivo, la fertilización y las condiciones ambientales en su conjunto, definen la producción, según los requerimientos y potenciales de producción de las variedades de caña de azúcar. La herramienta básica para conocer las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes para el cultivo es el análisis de suelos. El análisis de suelo es una herramienta confiable para elaborar un buen programa de fertilización y para la aplicación de correctivos. (González, 2017)

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez, ubicado en el municipio Aguada de Pasajeros, provincia Cienfuegos, en el período comprendido de 25 de abril de 2023 al 25 de junio de 2023.

El Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez limita el Norte con las de la Granja Agropecuaria Primero de Mayo, al Oeste con el Plan Arrocero de la Provincia de Matanzas, al Sur con la Ciénaga de Zapata y al Este con la Empresa de Cultivos Varios Horquita. La misma cuenta con un área de 22 557,25 ha. Posee un tipo de suelo Ferralítico Rojo: de color pardo rojizo, textura arcillosa, buena estructura, compactos, de buen drenaje y medianamente profundos, desarrollados sobre caliza dura. Se caracteriza por un pH neutro, saturado con predominio del Ca^{2+} en el complejo de cambio, poco o medianamente humificado con contenidos de MO de 2% en el horizonte A, según Hernández *et al.* (2015).

2.1. Caracterización de la vinaza que se genera en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez

La muestra se obtuvo de la destilería del complejo Antonio Sánchez, en la cual se tomó la temperatura de la vinaza a la salida del proceso de destilación. Las mismas se trasladó al laboratorio del ICIDCA Nacional en un frasco de cinco litros, limpios y esterilizados, y se conservaron a una temperatura de 4 °C. Tabla 2

Tabla 2. Determinaciones de las propiedades de la vinaza realizadas, métodos y principios de determinación

Determinación	Métodos	Principios de Determinación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Oxitop Box WTW	Degradación bioquímica

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Micro método de reflujo con el dicromato de potasio	Valoración
Nitrógeno	Kjeldahl	Valoración
Fósforo	Colorimétrico	Colorimetría
pH	Potenciométrico.	Potenciometría
Conductividad eléctrica	Conductimétrico	Conductimetría
Sólidos totales	Determinación de sólidos	Medición cuantitativa
Calcio	Absorción atómica	Emisión atómica
Potasio	Fotometría	Fotometría de llama.
Sodio	Fotimetría	Fotometría de llama.

2.2. Diagnóstico del suelo antes y después de aplicada la vinaza en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez teniendo en cuenta sus propiedades químicas

Metodología de muestreo

El muestreo físico se realizó según método de (Urquiza, N. et al., 2011), para ello se tomaron 25 submuestras a 10 metros de distancia entre cada una, todas con una profundidad entre 0-20 cm lo que cubrió un área experimental que representa el 50 % del campo evaluado.

Para la determinación de las propiedades químicas del suelo se siguió la Metodología de (García, et al., 2012). Las submuestras fueron mezcladas y homogenizadas conformando tres muestras del campo de 1kg de peso y fueron enviadas al laboratorio del *ETICA Centro Villa Clara* para las determinaciones analíticas pertinentes. Tabla 3

Tabla 3. Determinaciones de las propiedades químicas del suelo realizadas, métodos y principios de determinación

Determinación	Métodos	Principios de Determinación
Muestras de suelo		
pH en KCl	Potenciométrico en KCl: relación suelo - solución 1:2,5.	Potenciometría
Fósforo y potasio asimilables	Oniani, Extracción con ácido sulfúrico 0.1N relación suelo - solución 1:2,5; 3 minutos.	Fósforo por Colorimetría Potasio por Fotometría
Materia orgánica	Walkey-Black Ácido sulfúrico, dicromato de potasio 1N.	Colorimetría

Al concluir el periodo objeto de estudio, se tomaron muestras del suelo de cada tratamiento y se envían al laboratorio, donde se realizan los mismos análisis químicos que se realizaron al iniciar el experimento.

2.3. Determinación del comportamiento de la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 para cada tratamiento

Diseño experimental

La investigación se realizó en condiciones semicontroladas, con el objetivo de evaluar el efecto de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar, se realizó un diseño experimental aleatorizado, con yemas de caña de azúcar de la variedad C97-445 del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez procedentes de la provincia de Las Tunas y la vinaza se obtuvo de la Destilería del Complejo Antonio Sánchez, del municipio de Aguada de pasajeros.

Se consideraron cuatro tratamientos con tres repeticiones, incluyendo el control, los tratamientos fueron los siguientes:

Tabla 4. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Aplicaciones
T1	Testigo
T2	PK SERFE (40-75 kg/ha)
T3	Vinaza 60 m ³ /ha ⁻¹
T4	Vinaza 120 m ³ /ha ⁻¹

Se utilizaron los instrumentos y las herramientas siguientes:

- Recipientes de 10 dm³ de capacidad
- Mochila
- Recipiente de cristal de 1 L de capacidad
- Bolsa de suelo
- Barrera Agroquímica
- Probeta

Durante el estudio se realizaron observaciones y mediciones para evaluar el efecto de la vinaza en la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 en las condiciones del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez, en condiciones semicontroladas en recipientes de 10 dm³ de capacidad, con suelo ferralítico rojo según Hernández *et al.* (2015)

A la brotación como componente importante de la productividad de la caña, se le realizaron evaluaciones a los 25, 30, 35, 45 y 60 días de plantada; relacionado con las hojas se controlaron el número de hojas totales, el número de hojas activas, y la longitud de la hoja +1.

Se realizaron además controles a la altura y diámetro del tallo por la importancia de este indicador en el crecimiento de las plantas en sus etapas iniciales.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la vinaza que se genera en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez

El análisis de los componentes químicos de la vinaza aparece en la tabla 5 y mostró resultados similares a los determinados por varios autores, entre ellos (Arzola, Conceptualización de los elementos técnicos esenciales para la elaboración en fase de inversión de la tarea técnica para la aplicación de residuos de la agroindustria azucarera en las áreas agrícolas de Antonio Sánchez,, 2012). El contenido de nutrientes como el nitrógeno y el potasio, especialmente este último, se considera elevado, el fósforo se encuentra en concentraciones relativamente inferiores, aunque su aporte no es despreciable cuando se aplican volúmenes elevados de vinaza, (Takata, 2020).

Tabla 5. Caracterización de la vinaza de caña de azúcar.

Método de Ensayo	Unidad de medida	Valores
DQO	mg L ⁻¹	41 097.00
DBO	mg L ⁻¹	19 444.40
Nitrógeno	mg L ⁻¹	400.00
Fósforo	mg L ⁻¹	63.28
pH	-	4.45
Conductividad eléctrica	mS cm ⁻¹	11.21
Sólidos totales	mg L ⁻¹	36 970.00
Calcio	ppm	200.00
Potasio	ppm	2 450.00
Sodio	ppm	140.00

Aunque no se determinó en este trabajo se conoce que la vinaza es rica en materia orgánica, llegando en algunos casos hasta 17 kg m³ lo que es suficiente para que los microorganismos edáficos se desarrollen y mineralicen los compuestos químicos que contienen a los nutrientes, (Quiroz ,I. y Pérez,A, 2013) citando a varios autores.

3.2. Diagnóstico del suelo en el Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez teniendo en cuenta sus propiedades químicas.

La caracterización química del suelo inicialmente mostró un pH neutro, según las categorías establecidas en el Manual del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas para la caña de azúcar, (SERFE , 2013); contenido de materia orgánica inferior al 2%, considerado bajo, mientras que los elementos fósforo y potasio asimilables no mostraron deficiencias de los mismos, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterización química del suelo

pH en agua	pH en KCl	MOS (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O
			(mg 100g ⁻¹)	
8.0	7.4	1.22	7.77	17.68

En lo relacionado a los parámetros químicos determinados, al concluir el experimento, como muestra la tabla 7, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos empleados, se pudo apreciar que el grado de acidez del suelo mostró los valores más bajos con la aplicación de la dosis de 120 m³ ha⁻¹ de vinaza, no obstante sigue manteniéndose en la misma categoría de neutro, estos resultados coinciden con los de (Pineda E., Arzola N., Vidal M., de León M., Rodríguez J., Lugo I., Fernández I., Mora, R., Más, R., Díaz, R., Fernández, O., Delgado,, 2020), quienes al

muestrear durante varios años campos cultivados con caña de azúcar encontraron, que la aplicación de la vinaza no influyó de forma negativa en el grado de acidez del suelo.

Tabla 7. Influencia de los diferentes tratamientos sobre los parámetros químicos evaluados al concluir el experimento.

Tratamientos	pH en KCl	MOS (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O
			(mg 100g ⁻¹)	
I-Testigo Absoluto	7.47 a	1.22 c	6.78 a	17.00 b
II-NPK (SERFE)	7.50 a	1.36 bc	7.91 a	18.33 ab
III-60 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	7.63 a	1.53 ab	7.98 a	18.03 ab
IV-120 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	6.53 b	1.66 a	8.44 a	23.10 a
n	12	12	12	12
media	7.28	1.44	7.78	19.12
p	<0.0001	0.0039	0.1791	0.0460
EE	0.13	0.19	0.29	0.90
CV	1.10	6.12	10.41	11.06

Número de observaciones (n), EE (Error Estándar), CV (Coeficiente de Variación) y p<0,05

El contenido de materia orgánica mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos utilizados, mostrando los mejores resultados aquellos que contemplan la aplicación de vinaza, coincidiendo estos resultados con otros autores, entre ellos, (Armengol, J., Lorenzo, R. y Fernández, N, 2013) que encontró que la vinaza es un

residuo orgánico capaz de inducir modificaciones en los contenidos de materia orgánica de los suelos y producir un efecto residual hasta al menos cinco cosechas, lo que contribuye al aumento de la fertilidad de los suelos, y posibilita el empleo de la vinaza como mejorador orgánico a la vez que contrarresta la degradación a que los suelos están expuestos, debido al cultivo intensivo y al mal manejo.

(Jimenez, 2017) encontró que la vinaza aportó materia orgánica al suelo, incrementando en un 0.02 % el contenido de la misma en el suelo en comparación con el tratamiento control a una profundidad de 0 - 20 cm; que, aunque no fue un incremento considerable, sí mejoró la fertilidad y las propiedades del suelo y sus efectos positivos se pudieron ver en su integración con otras variables. Incremento significativo con la aplicación de vinaza en el contenido de materia orgánica, también con valores bajos en todos los casos, entre el 1 y el 2 %, obtuvieron (Villar, P., Villar, J., 2016)

El fósforo asimilable no mostró diferencias entre tratamientos, estos resultados coinciden con (Takata, 2020) que considera poco influyente el aporte de fósforo con la aplicación de vinaza por la poca movilidad de éste y porque transita a formas cada vez menos solubles con el paso del tiempo. El que no existieran diferencias en el contenido de fósforo antes y después de la aplicación de vinaza coincide también con (Pineda E., Arzola N., Vidal M., de León M., Rodríguez J., Lugo I., Fernández I., Mora, R., Más, R., Díaz, R., Fernández, O., Delgado,, 2020) quienes consideran bajo el aporte como fertilizante de este elemento por su pobre concentración en este producto residual. Aunque igualmente (Jimenez, 2017) tampoco encontró diferencias significativas en el contenido de fósforo, observó un efecto importante en la disminución de la inmovilización de este elemento lo que puede deberse al incremento en la materia orgánica en las parcelas donde se aplicó vinaza.

Para el potasio asimilable, todos los tratamientos superaron al testigo absoluto, lo que evidencia la factibilidad de la vinaza para aportar este nutriente al suelo, al mostrar resultados similares a la fertilización mineral. La influencia en los resultados relacionados con el aporte de potasio al aplicar vinaza, también es reconocida por (Takata, 2020) que afirma que este se encuentra inmediatamente disponible para las plantas. (Arzola, Conceptualización de los elementos técnicos esenciales para la elaboración del proyecto

de aplicación del residuo líquido vinaza de la producción de alcohol en la UEB-Destilería “Antonio Guiteras” en las áreas dedicadas a caña de azúcar, 2017), afirmaron que el potasio no se requiere como complemento de la vinaza y debe servir como indicador sobre la posibilidad de continuar aplicando la misma en las áreas cañeras, lo que se explica por las elevadas cifras que de este nutrimento se suministran al suelo. (Otoya, 2022) observó que la concentración de los elementos de la química del suelo no tuvo variaciones significativas, excepto el potasio, que, si se incrementó no solo con concentraciones mayores de vinaza si no también con el paso de los días, por otra parte, (Pineda E., Arzola N., Vidal M., de León M., Rodríguez J., Lugo I., Fernández I., Mora, R., Más, R., Díaz, R., Fernández, O., Delgado,, 2020) en estudios realizados encontraron que las aplicaciones de vinaza incrementaron el contenido de potasio asimilable en el suelo, lo que coincide con los resultados alcanzados en este estudio.

3.3. Comportamiento de la brotación de la caña de azúcar de la variedad C97-445 y de las propiedades químicas del suelo del Banco de Semilla Registrada de Caña de Azúcar de la Empresa Azucarera Antonio Sánchez para cada tratamiento

Las evaluaciones realizadas a los indicadores seleccionados del crecimiento de la caña de azúcar mostraron la respuesta diferenciada del cultivo a la aplicación de fertilizantes químicos y las diferentes dosis de vinaza pura.

La brotación como componente importante de la productividad de la caña, evaluada como el número de plantas brotadas a los 25, 30 ,35, 45 y 60 días mantuvo una dinámica favorable, de manera significativa, a la aplicación de la vinaza en ambas dosis (60 y 120 m³ha⁻¹) (Tabla 8).

Tabla 8. Efecto de la aplicación de fertilizantes químicos y de diferentes dosis de vinaza pura sobre el número de plantas brotadas

Tratamientos	Plantas Brotadas				
	25	30	35	45	60
	(días)				
I-Testigo Absoluto	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 a	1.00 b
II-NPK (SERFE)	2.00 a	2.00 a	2.33 a	2.00 a	2.33 ab
III-60 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	2.33 a	2.33 a	2.33 a	2.33 a	3.00 a
IV-120 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	2.00 a	2.00 a	2.00 a	2.00 a	3.00 a
n	12	12	12	12	12
media	1.83	1.83	1.92	1.92	2.33
p	0.0701	0.0701	0.0990	0.0990	0.0267
EE	0.24	0.24	0.26	0.26	0.31
CV	27.27	27.27	31.35	31.35	27.66

Número de observaciones (n), EE (Error Estándar), CV (Coeficiente de Variación) y p<0,05

Estos resultados coinciden con (Kulasekara, B.R. and Weerasinghe, H.A.S, 2021) que evaluaron los efectos de la vinaza sobre las propiedades químicas del suelo y en el crecimiento inicial de la caña de azúcar, utilizaron yemas aisladas colocadas en recipientes que previamente recibieron diferentes dosis de vinaza pura. A los 30 días después de plantadas encontraron incrementos relativos en la brotación de las yemas (longitud y peso de los brotes) para la aplicación de dosis de 40 y 60 m³ ha⁻¹ de vinaza

pura. Además, (FERTECO, 2023) en las Memorias del Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar realizado en Cali, Colombia plantea que los efectos de la aplicación de vinaza se traducen en aumentos de producción (biomasa), y su utilización hasta 20 días después del corte da como resultado una adecuada brotación de la soca e incrementos en la longevidad de los cañaverales.

Número de hojas totales y activas

A la edad de 30 días en lo relativo al número de hojas totales, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, superando todos los tratamientos al testigo absoluto, mientras que a las edades posteriores en que se evaluó este indicador no se encontraron diferencias entre los tratamientos empleados, similares resultados fueron obtenidos por (Tuesta, 2017) que no observó diferencias significativas en este indicador en plantas de maíz, después de tres meses de riego con vinaza. Por otra parte, se observó que el número de hojas activas, mostró diferencias estadísticas significativas, entre tratamientos y edades evaluadas, ya que se aprecia en la tabla 9 que para todos los casos el testigo absoluto es superado por todos los tratamientos utilizados.

Tabla 9. Efecto comparativo de la aplicación de fertilizantes químicos y diferentes dosis de vinaza pura sobre las hojas totales y activas

Tratamientos	Hojas totales por edades			Hojas activas por edades		
	30 días	35 días	45 días	30 días	35 días	45 días
I-Testigo Absoluto	1.33 b	2.33 a	4.00 a	1.33 b	1.33 b	3.67 b
II-NPK (SERFE)	1.67 ab	4.00 a	5.00 a	1.67 ab	3.33 ab	4.67 ab
III-60 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	2.33 ab	4.00 a	5.33 a	2.33 ab	4.00 a	4.67 ab
IV-120 m ³ ha ⁻¹ de vinaza	3.00 a	4.00 a	5.33 a	3.00 a	4.00 a	5.00 a
n	12	12	12	12	12	12
media	2.08	3.58	4.83	2.08	3.58	4.58

p	0.0391	0.1327	0.2627	0.0391	0.0228	0.0624
EE	0.26	0.31	0.27	0.26	0.31	0.23
CV	26.53	24.17	15.80	26.53	26.38	12.60

Número de observaciones (n), EE (Error Estándar), CV (Coeficiente de Variación) y $p < 0,05$

Longitud de la hoja +1

Este tejido, resulta expresión de la condición nutricional de las plantas de caña de azúcar, (Chávez, 1999). Las mediciones de este carácter, realizadas los días 45 y 60 d.d.p. expresaron que las longitudes de la hoja +1 fueron siempre mayores de manera significativa en los tratamientos con vinaza, como se muestra en la Figura 5.

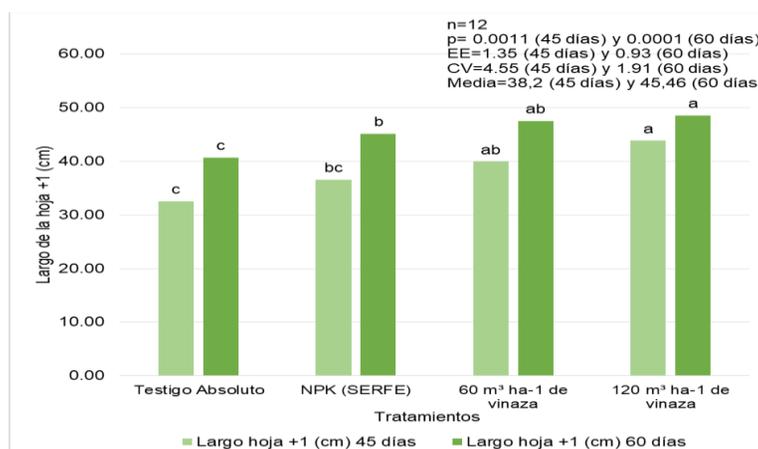


Figura 5. Influencia de los tratamientos sobre la longitud de la hoja +1

Altura y diámetro del tallo

La altura y el diámetro de los tallos son unos indicadores importantes del crecimiento de las plantas en sus etapas iniciales, ambos resultaron igualmente favorecidos de manera significativa por la aplicación de vinaza pura, en ambas dosis. La Figura 6, muestra los resultados obtenidos en lo relacionado con estos indicadores, donde se aprecia que para la altura, todos los tratamientos superan al testigo, lo que evidencia la factibilidad de emplear cualquiera de las fuentes de aporte de nutrientes evaluadas al respecto, destacándose la dosis de 120 m³ ha⁻¹ por mostrar los mayores valores en lo relacionado

con la altura de las plantas a las edades evaluadas, mientras que para el diámetro las diferencias estadísticas resultan significativas. Destacándose los tratamientos que contemplan la aplicación de vinaza.

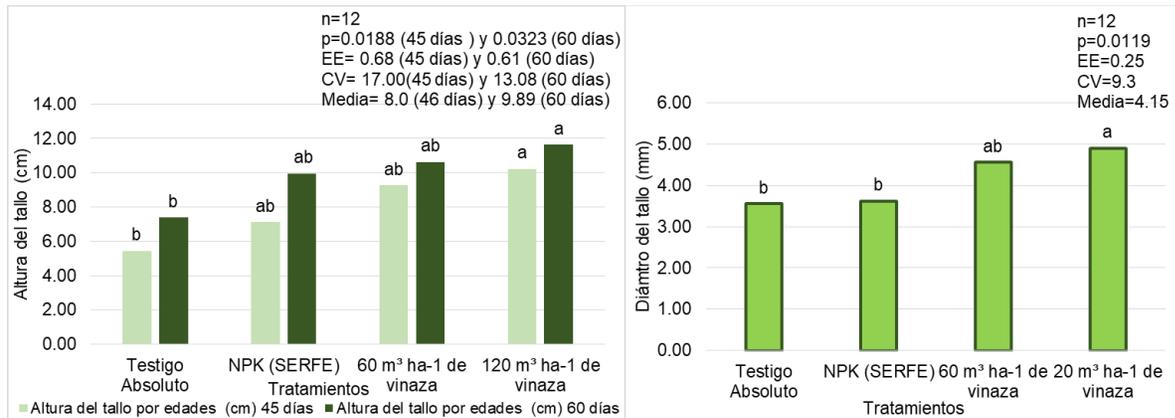


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre la altura y el diámetro de los tallos

Los resultados obtenidos con la aplicación de vinaza en indicadores del crecimiento de la caña de azúcar son similares a los de (Maradiaga, W., Rodriguez, Wagner Pêgo, A., Junior, J. and Bernardes, R, 2018). Estos autores dividieron el estudio en cuatro fases de desarrollo del cultivo e igualmente encontraron efectos significativos de la vinaza mezclada con un concentrado de alga *Lithothamnium* sobre la altura y el grosor del tallo, así como sobre el índice de área foliar. Por otra parte, (Mejia, 2012) coincide con los resultados obtenidos al plantear de acuerdo a lo obtenido en sus investigaciones, que la vinaza puede ser usada como abono y mejorador de los suelos en cultivos de alta demanda de potasio como la caña de azúcar pues su uso fomenta el crecimiento vigoroso de la planta, aumenta la altura, número y diámetro de los tallos, lo cual incide en una mayor producción del campo.

Conclusiones

1. La vinaza mostró una composición adecuada para ser aplicada al suelo, donde se destaca su aporte nutricional en relación con el potasio. Su aplicación favoreció el desarrollo de la hoja + 1 (tejido indicador) en aquellos tratamientos que recibieron vinaza, mostrando los valores más elevados la dosis de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.
2. Los indicadores evaluados de la química del suelo demuestran que con la aplicación de vinaza estos pueden si no mejorarse, al menos permanecer en rangos que no afectan al suelo ni al cultivo.
3. La fertilización mineral y la aplicación de vinaza mostraron sobre la brotación, sólo a los 60 días una influencia favorable sobre este indicador, con ambas aplicaciones fue favorecida la altura de los tallos a las edades de 45 y 60 días mientras que la aplicación de vinaza resultó favorable para el desarrollo del diámetro del tallo a los 60 días.
4. La vinaza constituye una fuente alternativa, para ser aplicada en caña de azúcar en edades tempranas capaz de beneficiar indicadores químicos del suelo y fenológicos del cultivo.

Recomendaciones

1. Evaluar el efecto de la vinaza en otras etapas de desarrollo de la caña de azúcar.
2. Evaluar otras dosis de vinaza, para conocer el comportamiento del desarrollo del cultivo y las propiedades químicas y microbiológicas del suelo
3. Generalizar los resultados en otra para ser aplicados en otras áreas de la provincia y el país.

Bibliografía

Pino A, Casanova O, Hernández J, Takata V, Panissa G. (2017). *Efecto de la aplicación de vinaza en suelos bajo caña de azúcar*.

Álvarez Sánchez, Vázquez Alarcón, Cueto Wong. (2019). *Efectividad biológica de abonos orgánicos*.

Anliker. (2010). *Astrología vs Ciencia*.

Arcila, A. (2017). *EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE VINAZA EN SUELO*.

Armando, A. (2013). *Parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y biológicos como indicadores*.

Armengol, J., Lorenzo, R. y Fernández, N. (2013). *La utilización de la vinaza como enmienda orgánica*.

Arteaga, O., Chongo, R. y Portieles, J. M. (2012). *Estudio sobre la posibilidad de empleo de la vinaza como fertilizante*.

Arzola. (2012). *Conceptualización de los elementos técnicos esenciales para la elaboración en fase de inversión de la tarea técnica para la aplicación de residuos de la agroindustria azucarera en las áreas agrícolas de Antonio Sánchez*.

Arzola. (2017). *Conceptualización de los elementos técnicos esenciales para la elaboración del proyecto de aplicación del residuo líquido vinaza de la producción de alcohol en la UEB-Destilería "Antonio Guiteras" en las áreas dedicadas a caña de azúcar*.

Arzola, N. C. y García, E. (2011). *La agroindustria de la caña de azúcar como alternativa de protección ambiental y producción*.

Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de caña de azúcar. (2010).

Bautista-Zúniga F, Durán-De Bazúa C, Lozano R. (2016). *Cambios químicos en el suelo por la aplicación de materia orgánica vinaza*.

Bernal. (2017). *Estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar*.

Bouza, H. (2020). *Influencia en la variación de las propiedades físico – químicas de los suelos Ferralíticos Rojos*.

Bustamante M.A., Said-Pullicino D., Agulló E., Andreu J., Paredes C., y Moral R. (2011). *Application of winery and distillery waste composts to a Jumilla*.

Bustamante M.A., Said-Pullicino D., Paredes C., Cecilia J.A., y Moral R. (2010). *Influences of winery–distillery waste compost stability and soil type on soil carbon*.

Cacua. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*.

Callejas, R., E. Rojo, C. Benavides y E. Kania. (2012). *Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo*.

Cantarella H., Neto A., y Martinelli L.A. (2012). *Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil*.

Carvajal, Y. A. (2014). *ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍA*

Casanova O, Takata V, Cejas V, Panissa. (2019). *Efecto de la vinaza sobre las propiedades del suelo y la nutrición del cultivo de caña de azúcar*.

Cassalett Dávila, C.; J. Torres Aguas y C. Echeverri. (2009). *El cultivo de la caña de azúcar: Brotación*.

Castillo, F. M. (2017). *Caña de Azúcar*.

Castillo, Y. S. (2016). *Gestión medioambiental AZCUBA*.

Castro, J. (2012). *Variedades de la Caña de Azúcar. Programa de Fitomejoramiento. Impacto en la producción azucarera cubana*.

Castro, Prado, Paladines, & Cervantes. (2017). *Química agrícola. El suelo*.

Catalá, Pía, Martínez, Forés, & Tomás. (2012). *Importancia de la abundancia y cualidades de los subproductos*.

Ceccon, E. (2008). *La revolución verde: tragedia en dos actos*.

Chanfón. (2014). *Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería*.

Chaves. (2018). *Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar*.

Chávez, M. (1999). *Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (LAICA).

Christofolletti. (2013). *Aplicación de vinaza al suelo*.

Conadesuca. (2016). *Nota informativa sobre innovaciones en materia de producción*.

Condesa, H. (2016). *Nota informativa sobre innovaciones*.

Definen acciones de estrategia ambiental de Cienfuegos. (2022).

Dillewijn, V. (2012). *Dinámica de la brotación, emergencia y crecimiento inicial de la caña de azúcar. Efecto del genotipo, factores ambientales y manejo*. (Tesis doctoral inédita). UNT.

Duran, A. (2011). *MANUAL-COSTOS-AGROWIN*.(cap. 1,2,3).

El manejo de los residuales líquidos de la industria de azúcar y sus derivados en Cuba, en el contexto de las legislaciones ambientales actuales. (2016).

Fernandez, R. (2020). *Caña de azúcar, un cultivo que proviene de pequeños productores*.

FERTECO. (2023). *Beneficios de la aplicación de la Vinaza en los cultivos. Memorias del Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar realizado en Cali, Colombia*.

Figueredo, N. y. (2002). *Propuesta de metodología para el empleo de los residuales*.

FILHO, J. (2013). *Utilizado Agrícola Dos Resíduos Da Agroindustria Canaveira in Nutriciones*.

García y Rojas. (2009). *Biología y medio*.

- García, A. (2005). *Distribución de variedades comerciales de caña de azúcar en el área de cultivo de la provincia de Tucumán.*
- GLORIA, N.A. da y FILHO, J.O. (2016). *Aplicando da Vinhaca como Fertilizante.*
- Gonçalves de Oliveira B., Nunes Carvalho J.L, Pellegrino Cerri C.E., Clemente. (2013). *Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas.* Geoderma.
- González, H. (2017). *Good Management practices manual for the cane sugars industry.* International Finance Corporation.
- Gonzalez, N. (2014). *La caña de azúcar como alimento funcional.*
- Grudemi. (2019). *Caña de Azucar.*
- Guadalupe, D. (2016). *El manejo de los residuales líquidos de la industria de azúcar y sus derivados en Cuba, en el contexto de las legislaciones ambientales actuales.*
- Hernandez , J.A.; Morales , D.M.; Borges , B.Y.; Vargas , B.D., (2020). *Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos.*
- Jiménez. (2017). *Evaluación del efecto de aplicación de vinazas sobre las propiedades físico químicas y actividad biológica en un suelo de orden Inceptisol cultivado con caña de azúcar en la vereda la primavera – municipio de Villarica norte del Cauca.*
- John. (2015). *Estado de la fertilidad y degradación de los suelos de la granja agrícola Los Pinos.*
- Korndorfer, N. (2008). *Manejo de los residuales en la industria .*
- Kulasekara, B.R. and Weerasinghe, H.A.S. (2021). *A preliminary study: Effects of sugarcane by-products, vinasse on chemical properties of soil and initial grow of sugarcane variety.*
- Lara, J. S. (2020). *Introducción de tres variedades caña de azúcar tuneras en la UEB Atención a los Productores de Amancio.*
- Lemus, J. M. (2016). *TAXONOMÍA CAÑA DE AZUCAR Y CARACTERÍSTICAS .*
- Lorenzo, Chanfón., (2014). *Efecto de la vinaza obtenida de la fabricación de la levadura y aplicada en el agua de riego, sobre el rendimiento de tres cultivos .*
- M, Chavez. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario en la sede CD.*
- Maradiaga, W., Rodriguez, Wagner Pêgo, A., Junior, J. and Bernardes, R. (2018). *Effects of vinasse and Lithothamnium application on the initial growth of sugar cane (Saccharum sp. cv. RB 86-7515).*
- Marrero-Coto, J. (2012). *Fitorremediación , una tecnología que involucra a plantas y a microorganismos en el saneamiento ambiental.*
- Martínez M, Castro, D, Gutiérrez, V, Carrascal, A, Matíz, A, Serna, R, Montoya, J, Caro. (2009). *Importancia de la materia orgánica en la agricultura.*
- Martínez, J. B. (2010). *Importancia de la caña de azucar.*
- Medina, M. C. (2022). *Cultivo de la caña de azucar .*

- Mejía, R. (2012). *Vinaza Alternativa de uso*.
- Mejía, S. (2012). *Evaluación del impacto potencial de incorporación de vinazas en el agua de riego utilizada por la unidad de riego Alfredo V. Bonfil. Veracruz. Nota informativa sobre innovación en materia de productividad del sector. Vinazas alternativas*.
- Mendoza. (2015). *Evaluación de cultivares de caña de azúcar*.
- Meneses, A. (2017). *Guía de Buenas Prácticas Agrícolas en la caña de azúcar*.
- Miranda, F. E. (2018). *Desarrollo tecnológico y social de industria azucarera*.
- Mora, D. (2015). *Potencialidades de familias de variedades de caña de azúcar para diferentes períodos de zafra en Cuba*.
- Nayarit. (2018). *La caña de azúcar y su importancia para la industria azucarera*.
- Nieremberg. (2011). *Importancia de la materia orgánica en la agricultura*.
- Nogueira. (2022). *Características de la caña de azúcar*.
- Obando, G. A. (2015). *Condiciones de diseño de un Reactor de Pirolisis a escala de Biocarbón a partir de Residuos*.
- Oscar Joaquín, Duarte Álvarez. (2019). *Guía técnica del cultivo de la caña*.
- Otoya. (2022). Efecto de la vinaza en el suelo de cultivo de *Saccharum officinarum* L. "caña de azúcar". *Revista Ciencia y Tecnología*.
- Paneque. (2005). *Manual de Técnicas Analíticas para las aguas residuales*.
- Perez F, Fernandez H. (2016). *Métodos analíticos para azúcar crudo*.
- Pérez, Y. M. (2022). *La gestión ambiental de la empresa azucarera Cienfuegos*.
- Pineda E., Arzola N., Vidal M., de León M., Rodríguez J., Lugo I., Fernández I., Mora, R., Más, R., Díaz, R., Fernández, O., Delgado, . (2020). *Aplicación de vinaza como fuente alternativa de fertilizante*.
- Porras, F. A. (2021). *Efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum**.
- Quiñónez, (. &. (2012). *Métodos de análisis recomendados pra el suelo*.
- Quiroz ,I. y Pérez,A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Quiroz G. I, P. V. (2011). *Percepción y actitud de productores cañeros sobre la composta de vinaza*.
- Rabuffetti. (2017). *La fertilidad del suelo con vinaza*.
- Rivero, J. R. (2021). *Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba*.
- Romero, E. (2016). *Dinámica de la brotación potencial de caña*.
- Ruiz, E. P. (2011). *Uso alternativo de la vinaza en la fertilización de la caña de azúcar, efectos sobre el cultivo y el suelo*.

- Sánchez, Á. (2019). *Evaluación de la vinaza como fertilizante en el cultivo de la caña de azúcar*.
- Santos, C. (2017). *Beneficios de la aplicación de la Vinaza en los cultivos*.
- Scandalariis, J.; E. R. Romero y M. Roncedo. (2019). *Avances de la producción de la caña de azúcar*.
- Senatore, D. (2013). *Vinaza como fertilizante de la caña*.
- SERFE . (2013). *Manual del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas para la caña de azúcar*.
- Solís-Fuentes. (2011). *Desarrollo de jarabes fructosados de caña de azúcar a partir del guarapo*.
- Takata. (2020). *Aplicación de vinaza al suelo*. (Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias). Opción Ciencias del Suelo. Universidad de Cienfuegos.
- Torre, A. (2023). *Historia de la caña*.
- Tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica y color provenientes del proceso de vinaza. (2010).
- Tratamiento industrial de vinazas de destilería en reactores. (2015).
- Tuesta, I. (2017). *Efecto de la aplicación de vinazas de la industria del tequila en el cultivo del maíz y en la asociación planta-hongo micorrízicos arbusculares (HMA)*.
- Vadivel, R. (2014). *Significance of vinasses waste management in agriculture and environmental quality-Review*.
- Valdez ,Vanteur . (2021). *Reservas de materia orgánica y nitrógeno en los suelos Ferralíticos Rojos típicos*.
- Valdez, V. (2010). *Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in México*.
- VALLE, C. (2012). *Propuesta para poner en funcionamiento la planta de tratamiento de la caña de azúcar*.
- Villar, P., Villar, J. (2016). *Guía de la fertilidad de suelos y nutrición vegetal de producción agrícola*.
- Villegas Cornelio, V. y. (2017). Avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias*, 8(2), 393-406.
- Wajswol, S. (2017). *Monitoreo de la aplicación de vinaza como fertilizante en caña de azúcar con indicadores microbianos de suelo*.
- Yang ,S. J and J.B Chen. (2018). *Germination response of sugarcane cultivars to soil moisture and temperature*.
- González-Hernández, Y., Baigorria-Padrón, D., Pardo-Mora, L., Delgado-Padrón, J., (2020). *Efecto de la aplicación de diferentes productos en la brotación de la caña de azúcar*.

Anexos

Imágenes de la investigación

