

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA  
ACCELERAR LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES  
DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR  
TESIS DE GRADO

**JERSON SILIEZAR GARCÍA MÁRQUEZ**  
CARNET 22051-03

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2014  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA  
ACCELERAR LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES  
DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR  
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**JERSON SILIEZAR GARCÍA MÁRQUEZ**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2014  
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ

MGTR. LUIS AMÉRICO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ

ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Escuintla 14 de Octubre 2,014

Señores Miembros  
Comité de tesis  
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR

Respetables Señores:

En cumplimiento de los requisitos de la Universidad Rafael Landívar, por este medio me permito que tuve a bien asesorar al alumno **Jerson Siliezar García Márquez carne 2205103**, en la ejecución de la tesis titulada ESTIMULADORES QUIMICOS Y BIOLOGICOS PARA ACELERAR LA DESCOMPOSICION DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZUCAR, (Sacharum officinarum, panceae). Además realice las correcciones necesarias al informe final de tesis acorde a los reglamentos de la Universidad.

Por la importancia de los datos obtenidos de los diferentes extractos y toma de decisiones en la industria azucarera guatemalteca les agradeceré den los trámites correspondientes a la presente tesis.

Sin más que exponer, me suscribo de ustedes.

Atentamente,

  
Dra. María Antonieta Alfaro



**Universidad  
Rafael Landívar**  
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06231-2014**

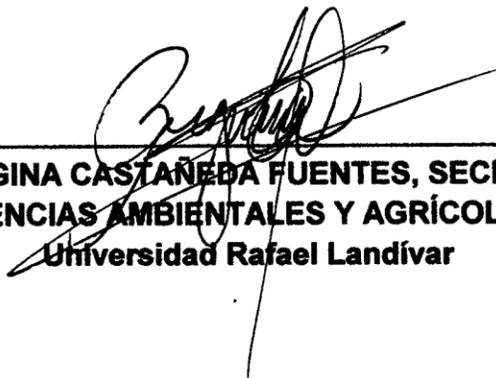
**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JERSON SILIEZAR GARCÍA MÁRQUEZ, Carnet 22051-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06130-2014 de fecha 8 de noviembre de 2014, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA  
ACCELERAR LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES  
DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de noviembre del año 2014.

  
\_\_\_\_\_  
**ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA**  
**CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**  
**Universidad Rafael Landívar**



## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios por acompañarme cada día de mi vida, y darme la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Dra. María Antonieta Alfaro, por su asesoría, revisión y corrección del presente documento de investigación

.

Cengicaña por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

Licda. Wendy de Cano, por su apoyo en el análisis de las muestras en el laboratorio.

Ing. Ovidio Pérez, Fernando Hernández, por su apoyo, en la presente investigación.

## DEDICATORIA

A:

Dios: Por darme la vida y su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Adelino García y Mariana Márquez a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

Mi familia: Hermanos, Byron, Mercedes, Esma Horacio, Dalila, primos, sobrinos y cuñados que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

Mis amigos: Francisco Castro, Héctor Monterroso, Julio Catalán, Damaris Marroquín, Idania Cos, Flor Gonzales, por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. EFECTO DE LA MECANIZACIÓN.....	2
2.2. VENTAJAS DE LA COSECHA EN VERDE.....	3
2.3. DESVENTAJAS DE LA COSECHA EN VERDE .....	4
2.4. IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA Y LA RELACION CARBONO- NITRÓGENO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS.....	5
2.4.1. Microorganismos .....	7
2.4.2. Temperatura .....	8
2.4.3. Humedad.....	8
2.4.4. Aireación .....	9
2.4.5. Calidad de los residuos.....	9
2.5. INFLUENCIA DE LOS MICROORGANISMOS EN EL ACONDICIONAMIENTO Y MEJORAMIENTO DE LOS SUELOS .....	10
2.6. USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA ACELERAR LA DESCOMPOSICIÓN .....	10
2.6.1. Microorganismos eficientes.....	11
2.6.2. Té de compost.....	14
2.6.3. Té de Compost elaborado a partir de Lombricompost .....	16
2.6.4. Vinaza 17	
2.6.5. Características y Descripción de la Vinaza .....	17
2.6.6. Nitrógeno .....	18
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	19
IV. OBJETIVOS.....	21
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21

V.	HIPÓTESIS.....	22
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
6.1.	LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO .....	23
6.2.	MATERIAL EXPERIMENTAL .....	23
6.3.	FACTORES A ESTUDIAR .....	24
6.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS .....	24
6.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
6.6.	MODELO ESTADÍSTICO .....	26
6.7.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	26
6.8.	CROQUIS DE CAMPO .....	27
6.9.	MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	27
6.9.1.	Actividades antes de la aplicación .....	27
6.9.2.	Preparación del té de compost y activación de microorganismos .....	28
6.9.3.	Estimación de las dosis de vinaza y urea .....	28
6.9.4.	Recolección de residuos y traslado al área experimental.....	29
6.9.5.	Conducción del experimento .....	29
6.9.6.	Riego área experimental .....	29
6.9.7.	Muestreo de residuos .....	30
6.10.	VARIABLES DE RESPUESTA.....	31
6.11.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	32
6.11.1.	Análisis Estadístico .....	32
6.11.2.	Análisis económico .....	32
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
7.1	TEMPERATURA.....	33
7.2.	PROPIEDADES QUÍMICAS .....	36
7.3.	GRADO DE DESCOMPOSICIÓN.....	38
7.4.	REDUCCIÓN DE PESO DE LOS RESIDUOS .....	39
7.5.	PRODUCCION DE CO <sub>2</sub> DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS.....	41
7.6.	COSTO DE LOS TRATAMIENTOS.....	42
VIII.	CONCLUSIONES .....	45
IX.	RECOMENDACIONES.....	46
X.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	47

## INDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Rangos adecuados de diferentes organismos en compost y té de compost. ....	15
Cuadro 2. La formulación comúnmente utilizada para 100 L de agua. ....	15
Cuadro 3. Características de los residuos de caña de azúcar utilizados en el experimento. ....	23
Cuadro 4. Características químicas de los extractos utilizados en el experimento. ....	24
Cuadro 5. Descripción de los tratamientos evaluados .....	25
Cuadro 6. Escala de degradación de residuos para tratamientos.....	30
Cuadro 7. Descripción de los análisis efectuados.....	31
Cuadro 8. ANDEVA para la variable temperatura a los 68 días después de la aplicación de tratamientos.....	34
Cuadro 9. Prueba de medias de la variable temperatura del total de tratamientos.....	34
Cuadro 10. Prueba de medias de la variable temperatura por efecto del factor producto. ....	35
Cuadro 11. Prueba de medias de la variable temperatura por efecto del factor volteo. ....	36
Cuadro 12. ANDEVA para la variable Nitrógeno (%) en los residuos, en los diferentes tratamientos.....	36
Cuadro 13. Prueba de medias producto en el contenido de Nitrógeno.....	37
Cuadro 14. ANDEVA para la variable contenido de fósforo en los residuos, en los diferentes tratamientos.....	37
Cuadro 15. ANDEVA para la variable contenido de potasio en los residuos, en los diferentes en los tratamientos.....	38
Cuadro 16. Prueba de medias del contenido de potasio en los residuos, de acuerdo al factor volteo. ....	38
Cuadro 17. Grado de descomposición promedio de los residuos de acuerdo a los tratamientos.....	39
Cuadro 18. ANDEVA para la variable Reducción de peso de los residuos, por efecto de los tratamientos.....	40
Cuadro 19. Prueba de medias en el porcentaje de reducción en peso de residuos respecto al factor producto. ....	40
Cuadro 20. Prueba de medias en reducción de peso de residuos respecto al factor volteo .....	41
Cuadro 21. Producción de CO <sub>2</sub> de los residuos descompuestos (microgramos de CO <sub>2</sub> por gramo de residuo seco por hora).....	42

Cuadro 22: Análisis de varianza para la producción de CO <sub>2</sub> de los residuos descompuestos (microgramos de CO <sub>2</sub> por gramo de residuo seco por hora).....	42
Cuadro 23. Costo por % de reducción de peso de los residuos tratados. ....	43

## INDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Croquis del experimento.....	27
Figura 2. Comportamiento de la temperatura a través del tiempo. ....	33
Figura 3. Efecto del volteo sobre la reducción de peso de los residuos.....	41

# **EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA ACELERAR LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA COSECHA MECANIZADA DE CAÑA DE AZÚCAR**

## **RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación fue encontrar un estimulante químico o biológico económicamente rentable que acelere la descomposición de residuos resultantes de la cosecha mecanizada en caña de azúcar. La investigación fue ejecutada en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) ubicado en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa del departamento de Escuintla. Para la evaluación se utilizó residuos provenientes de la industria azucarera; cachaza y bagazo en descomposición con lo cual se elaboraron extractos de compost, así mismo se obtuvo un extracto de lombricompost elaborado con pulpa de café, también se evaluó la aplicación de microorganismos eficientes (EM) y como compuestos químicos, la aplicación de Urea al 3% y vinaza, al tratamiento testigo no se le aplicó ningún estimulador de descomposición. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con arreglo factorial donde el factor 1 son los estimulantes y factor 2, el volteo. El número total de tratamientos evaluados de acuerdo a la combinación de factores fueron 14, cada uno con 4 repeticiones. Las variables de respuestas fueron temperatura, grado de descomposición, propiedades químicas, producción de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), días a descomposición, costo por día de descomposición. Mediante la aplicación de diferentes extractos se prepararon los residuos con anticipación de siete días y fueron aplicados con regadera de jardín con una dosis de 20 litros por cada tratamiento, el tratamiento urea 3% y vinaza fueron preparados en el momento de aplicación. En el análisis económico el tratamiento de Urea 3%, fue el más económico en la relación quetzales por porcentaje (Q/%) con un costo por hectárea de Q12,441.00, siendo el tratamiento de microorganismos el segundo en rentabilidad con un costo de Q11,683.00 por hectárea. Estos podrían ser métodos alternos para la reducción de residuos así mismo considérese el tratamiento de urea, debido al contenido de nutrientes que este contiene al descomponerse. Con fines de validación de la presente investigación se recomienda la evaluación de los tratamientos a nivel de campo, tomando en cuenta que la heterogeneidad del suelo es mayor, siendo este factor determinante para la validación de resultado.

# EVALUATION OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL STIMULANTS TO ACCELERATE FROM WASTE DECOMPOSITION OF HARVESTING SUGARCANE

## ABSTRACT

The objective of this research was to find an economically viable chemical or biological stimulators that accelerates the decomposition of waste resulting from the mechanical harvesting of sugarcane. The research was performed in the Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) located in the town of Santa Lucia Cotzumalguapa of Escuintla. Waste from the sugar industry was used for the assessment; filter cake and bagasse decomposition which compost extracts were prepared, also an extract of vermicompost made from coffee pulp was obtained, the application of effective microorganisms (EM) and as chemical compounds were also evaluated, application of urea to 3 % and vinasse, the control treatment will not apply any stimulator decomposition. The experimental design was a randomized block with factorial treatment structure where the factor 1 are stimulants and factor 2 with tumbling. The total number of treatments evaluated according to a combination of factors were 14, each with 4 replications. The response variables were temperature, degree of decomposition, chemical properties, production of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), days of decay, decomposition cost per day. By applying different residues extracts were prepared in advance of seven days and were applied with garden sprinkler with a dose of 20 liters per treatment, 3% urea vinasse treatment were prepared at the time of application. In the economic analysis the treatment of urea 3%, was the most economical in the percentage relationship quetzals (Q /%) with a cost per hectare of Q12,441.00, treating microorganisms being second in profitability costing Q11,683.00 per hectare. These may be alternative methods for waste reduction likewise consider the urea treatment, due to the content of nutrients it contains to decompose. For validation of the present research evaluating treatments at camp level is recommended, taking into account the heterogeneity of the soil is increased, and this determinant factor validation result.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de azúcar es una de las actividades agroindustriales de mayor importancia en Guatemala aportando 3% del PIB Nacional. También es la que más empleos generan tanto directa como indirectamente con una cifra de empleos directos de 425,00, 32,000 Indirectos Tradicionalmente la cosecha de caña de azúcar ha sido efectuada manualmente, previa quema del cañaveral, lo cual facilita la actividad de los cortadores.

Debido a la tendencia mundial de reducir el contenido de gases con efecto invernadero, la cosecha con quema está siendo paulatinamente sustituida por la cosecha mecanizada. Si bien esta presenta algunas ventajas para el medio ambiente, la cantidad de residuos producidos después del corte puede constituirse en una molestia, no solo para el cultivo sino para las personas que laboran directamente en otras prácticas que siguen a la cosecha.

Ante tal problema, es conveniente buscar mecanismos que permitan acelerar la descomposición de los residuos dejados en el campo durante la cosecha mecanizada. Por tal razón, esta investigación tuvo como objetivo determinar si la adición de diferentes extractos obtenidos de fuentes orgánicas, a los residuos de la caña de azúcar, podría ser útil para estimular la descomposición de residuos y con ello, facilitar el reciclamiento de los nutrientes. Al reducir el tiempo de descomposición, se persigue también reducir el riesgo de que los residuos actúen como un albergue para plagas y enfermedades que atacan al cultivo.

Con la realización de este estudio, además de proponer como objetivo el de encontrar un estimulador de la descomposición de residuos que permita su rápido reciclamiento, se espera que contribuya a mejorar la comprensión del papel que juegan los procesos biológicos dentro de los agroecosistemas.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. EFECTO DE LA MECANIZACIÓN**

Todas las actividades agrícolas, mecanizadas o no, se planifican detalladamente alrededor de la estrategia de zafra con el objeto de lograr los mayores rendimientos agrícolas e industriales y la mejor utilización de las capacidades de las máquinas y la fábrica en el período de la cosecha. La actividad de planificación y asignación de recursos durante la cosecha se basa en el trabajo necesario de un día, para lograr el abastecimiento al central hasta su norma potencial de molida. (González, 1986).

Buscando incrementar los rendimientos de azúcar se hace necesaria la utilización de variedades de caña de ciclo hasta de 15 meses, lo que aumenta las dificultades para realizar la cosecha mecanizada por la aparición de tallos muertos, enraizados, encaminados y por la pérdida de la línea de corte del cogollo (González, 1986).

Los objetivos de la mecanización agrícola son, entre otros: aumentar la productividad del trabajo, al realizar una máquina el trabajo de varios hombres; humanizar el trabajo; liberar una gran fuerza de trabajo, que puede ser empleada en otras labores; y poner en explotación grandes extensiones de tierra debidamente acondicionadas. (González, 1986).

La actividad de la cosecha mecanizada es un proceso en cadena que está considerado como la prolongación del proceso industrial de fabricación de azúcar hasta los campos de caña. El proceso de la cosecha es un proceso continuo y no permite fallas en ninguno de sus eslabones, o sea, cosecha, transportación y recepción. La correcta vinculación entre estos tres recursos éxito de la gestión para lograr la mayor eficiencia. (González, 1986).

Flores (1976) y Saravia (1990), indican que Guatemala no podía quedar al margen en las pruebas de los nuevos cultivos, y es de esa manera como en San Jerónimo, Baja Verapaz, se establecieron los primeros trapiches donde se producía panela. Posteriormente se extendieron con la producción de la caña de azúcar a la Costa Sur, en donde se cultiva para la extracción de azúcar, alcanzando la explotación un incremento considerable en el año 1930 siendo a la fecha, la Agroindustria Azucarera, una de las fuentes de producción más importantes de Guatemala. Flores (1976)

## **2.2. VENTAJAS DE LA COSECHA EN VERDE**

Molina (1998) afirma que la cosecha en verde de la caña de azúcar es una práctica que ha sido bien aceptada en muchos países debido a los beneficios que presenta, aunque implica nuevos retos tecnológicos. La implementación de la cosecha en verde traería beneficios como la disminución de la contaminación ambiental, mejora en la estructura y fertilidad de los suelos y menores requerimientos hídricos, entre otros.

Molina (1998) menciona que la cosecha en verde de la caña de azúcar, contribuye favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, principalmente por el aporte de materia orgánica conformada por la hojarasca. Esta hojarasca u otros residuos vegetales que quedan sobre el suelo, cuando no se queman en las labores pre y poscosecha, constituyen una de las principales formas de transferir materiales y energía para el sostenimiento de los procesos que se desarrollan en el suelo, forma parte del alimento y de la energía utilizada por los organismos responsables de la descomposición de estos compuestos. Este aporte de biomasa se convierte en una reserva de materia orgánica y de minerales que van a realizar un aporte muy importante en el sistema de producción sostenible del cultivo de la caña de azúcar, al promover el reciclaje de nutrientes y como consecuencia, las necesidades de fertilización pueden ser menores en especial la de nitrógeno.

Igualmente los residuos protegen al suelo al tener un efecto amortiguador al paso de la maquinaria, además de proteger a las cepas de caña sobre todo durante la cosecha y en especial en períodos húmedos; esto alarga la vida útil del cultivo y distancia los ciclos de renovación del mismo. Molina (1998)

Crovetto (1992) señala que los residuos de cosecha en la superficie del suelo evitan el impacto directo de las gotas de lluvia, disminuyen la destrucción de los agregados, la erosión hídrica y eólica, el encostramiento y la escorrentía.

### **2.3. DESVENTAJAS DE LA COSECHA EN VERDE**

Una agricultura productiva con altos rendimientos generalmente produce también abundante cantidad de residuos agrícolas. El manejo de estos residuos es un verdadero arte y está relacionado con el éxito en la conservación del suelo y una producción agrícola rentable. Existe un rechazo por parte de los agricultores a la presencia de esta gran cantidad de residuos sobre el suelo, principalmente por la dificultad en las labores poscosecha. Esta situación lleva a los agricultores a eliminar estos residuos bien sea por extracción o por medio de la quema. (Crovetto, 1992)

Torres (1997) y Crovetto (1992) comparten opinión, al mencionar que existe un período crítico de 2 a 3 semanas después de la cosecha en verde de la caña de azúcar, especialmente si está cerca la época de lluvias, en el cual se debe evitar que los residuos de cosecha entren en contacto directo con las cepas de la caña, ya que el agua lixiviada por los residuos de cosecha tiene un efecto alelopático sobre las yemas que se encuentran en las cepas de la caña de azúcar. En la época seca los residuos pueden permanecer cerca de las cepas aunque es necesaria una labor de encalle (reubicarlos en los surcos) para facilitar las labores pos-cosecha.

Por su parte Ripoli (2000) señala que la cosecha en verde de la caña de azúcar cuando se realiza de forma manual, presenta una fuerte oposición por parte de los cortadores, ya que este sistema de cosecha genera una serie de problemas: reducción en la

capacidad de corte hasta en un 80%, dificultad en el corte, aumenta el ataque de abejas, escorpiones y serpientes. Cuando se utilizan las cosechadoras combinadas para la cosecha en verde, también se presentan algunos problemas como lo son la disminución de la capacidad de cosecha de la máquina, mayor contenido de materia extraña presente en los tallos cosechados, pérdidas de tallos, reducción de la visibilidad del operador de la cosechadora.

En cuanto a las poblaciones de insectos asociados al cultivo de la caña de azúcar, Gómez (1998) señala que en el Valle del Cauca la cosecha en verde de la caña genera cambios en estas poblaciones de insectos, en algunos casos mayores y en otros menores.

Torres (1997) señala que los residuos dejados por la cosecha en verde de la caña de azúcar sobre el campo, sometidos o no a labor de encalle, representan un riesgo considerable de quemas accidentales o intencionales en las cañas jóvenes, lo que afectaría considerablemente el desarrollo y la rentabilidad del cultivo.

#### **2.4. IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA Y LA RELACION CARBONO-NITRÓGENO EN LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS**

El carbono y el nitrógeno son constituyentes básicos de la buena calidad de materia orgánica. Teóricamente es importante mantener una relación de 20:1. Si la relación C:N es muy elevada se disminuye la actividad microbiana; sin embargo, se considera que si esta es muy baja no altera el proceso de compostaje aunque el exceso de nitrógeno se pierde en la forma de amoníaco. El heno seco, hojas, ramas, turba y aserrín son materiales ricos en carbono y pobres en nitrógeno. Mientras que los vegetales jóvenes, deyecciones de animales y residuos de mataderos son considerados como materiales pobres en carbono y ricos en nitrógeno (Larco, 2004).

Al realizar la incorporación de un material verde relativamente joven, se produce un rápido incremento de la población de microorganismos del suelo, en su intento por

descomponer el vegetal. Los factores que influyen en la actividad microbiana de descomposición son mayormente la temperatura, la composición del suelo y la relación carbono-nitrógeno del material de la planta (Dos Santos, Díaz, Vázquez, Gonzales, Ledesma, 2009).

La relación C:N es un indicativo de la edad y del tipo de planta del cual deriva el material, cuanto mayor sea la madurez de la planta, mayor será el contenido en fibras y menor el contenido en proteínas (Nitrógeno). El valor óptimo de C:N para una rápida descomposición de la materia orgánica está entre 15:1 y 25:1. Con rangos mayores a 25:1 puede resultar que el Nitrógeno quede "atado" a los microorganismos del suelo, ya que los mismos necesitarán de mayores cantidades de Nitrógeno, en la persecución de descomponer los materiales ricos en carbono, además de alejar al Nitrógeno de las plantas que lo necesitan e impedir su disponibilidad (Dos Santos et al., (2009).

Una solución en este caso sería la agregación de un fertilizante químico que contenga Nitrógeno, para nutrir a los microorganismos y ayudar a los mismos a descomponer a los materiales fibrosos, evitando que los mismos utilicen el nitrógeno necesario para el cultivo de interés.

La importancia de esto deriva en que, para la utilización de una planta con el objetivo de utilizar su aporte de nitrógeno, es necesario saber el momento más aproximado posible en el que la planta no sobrepasara la edad en la cual la relación C:N haría inefectivo al abono y hasta podría tornarse perjudicial para el cultivo posterior en el caso de que el mismo necesite de grandes cantidades de Nitrógeno para su desarrollo, esto es en el caso de plantas que no sean leguminosas. (Dos Santos et al., 2009).

### **2.4.1. Microorganismos**

La actividad microbiana está regida por un amplio número y gama de poblaciones de microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos. En la cantidad y variabilidad de estos influye, el tipo de material, el tiempo de descomposición y la calidad del producto final (Larco, 2004).

El suelo es uno de los ambientes donde un conjunto ingobernable de microorganismos compiten entre sí para obtener lo que todos ellos necesitan: nutrientes y energía. Al mismo tiempo, los productos de su metabolismo alteran la composición química del sitio donde habitan. Más aún, los propios microorganismos evolucionan en respuesta a la presión del ambiente. En un suelo agrícola están presentes alrededor de 1,000 organismos por gramo de suelo y constituyen una biomasa de aproximadamente 1,500 kg por Ha, lo cual corresponde a un cordero por cada 100 m<sup>2</sup>. Un gramo de suelo fértil puede contener 5 mg de micelio fúngico, 10<sup>8</sup> células bacterianas, 10<sup>6</sup> esporos de actinomicetos (Carrillo, 2003).

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad, diversidad y, sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos, repercuten en los seres superiores con los cuales comparte un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal. Sin embargo, el nivel de actividad de las poblaciones microbianas de diversos suelos es muy bajo, salvo en el microhábitat donde haya una suficiente cantidad de fuente de carbono metabolizable (C-lábil). Cuando se introducen plantas en el sistema, la situación de los microbios cambia drásticamente, ya que las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo, de los que los microorganismos se aprovechan cuando se encuentran en la zona próxima a la raíz y proliferan en ella (Acuña, Peña, Serrano, Pocasangre, Rosales, Delgado, Trejos y Segura, 2006).

Acuña et al., (2006) indica que especies bacterianas y algunas veces incluso algas microscópicas o protozoos, proliferan en las superficies expuestas a la humedad formando una bio-película de microorganismos contenidos en una matriz de polisacáridos cuyo espesor puede oscilar entre algunos micrómetros y pocos milímetros, que se adhiere fuertemente a la base. Las bio-películas se forman en todas las superficies sumergidas, tanto en agua dulce como de mar, o bien sobre soportes constantemente húmedos tales como paredes de la cañería de agua, pisos o dientes. El 99% de toda la actividad microbiana en un ecosistema abierto ocurre en los suelos.

#### **2.4.2. Temperatura**

Para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas, se consideran óptimas temperaturas entre 55-65°C. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros se inactivan y, al descender la temperatura, se detiene el proceso de descomposición (Larco, 2004).

D'Angelo, González y Rubalcaba (2004) demostraron que temperaturas por encima de 53° C durante el compostaje elimina totalmente las bacterias patógenas, los virus y los huevos de *Ascaris* pierden la viabilidad, encontrándose en estas condiciones una sobrevivencia limitada de microorganismos indicadores y formas enquistadas de protozoos.

Higa y Parr (2009) afirman que con altas temperaturas se incrementan el número de las poblaciones microbianas, al igual que ciertos patógenos de las plantas como el *Fusarium*, el cual es uno de los principales organismos que generan pudrición en los suelos.

#### **2.4.3. Humedad**

Es importante que la humedad alcance los niveles óptimos entre 40 y 60%. Si el contenido de humedad es mayor del 70%, el agua desplazará al aire de los espacios libres y el proceso se volvería anaeróbico, produciéndose putrefacción de la materia orgánica. Pero, si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los

microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad también depende de las materias primas empleadas, por ejemplo, para materiales fibrosos o residuos forestales la humedad máxima permisible se sitúa entre 75-85% (Larco, 2004).

Higa y Parr (2009) indican que los microorganismos son efectivos cuando se dan las condiciones óptimas dentro de las cuales está la buena disponibilidad de agua y oxígeno, aunque esto depende si los microorganismos son aerobios, aunque recalcan que ya hay productos en el mercado que han logrado quitar esta barrera.

#### **2.4.4. Aireación**

El compostaje es un proceso aeróbico, por tanto, la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno depende del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y presencia o ausencia de estructuras que permita la aireación. Si esta es insuficiente o está mal distribuida, se tienen consecuencias negativas con la producción de microorganismos anaeróbicos (Larco, 2004).

#### **2.4.5. Calidad de los residuos**

Larco (2004) determinó que la calidad de los residuos a descomponer es muy importante y por ello clasificó al heno, hojas, ramas y aserrín como materiales ricos en carbono y pobres en nitrógeno, mientras que los desechos de animales y desperdicios de mataderos son ricos en Nitrógeno y pobres en Carbono.

En el compostaje se puede utilizar cualquier desecho de origen orgánico como:

- Heno seco
- Hojas y ramas
- Aserrín
- Desperdicios de matadero
- Estiércol de cualquier animal.

## **2.5. INFLUENCIA DE LOS MICROORGANISMOS EN EL ACONDICIONAMIENTO Y MEJORAMIENTO DE LOS SUELOS**

Las aplicaciones de microorganismo benéficos al suelo pueden ayudar a definir la estructura y establecimiento de ecosistemas naturales (Higa y Parr 2009).

Las bacterias fotosintéticas dan sostén a las actividades de los demás microorganismos, sin embargo, las bacterias fotosintéticas también utilizan sustancias producidas por otros microorganismos. Este fenómeno se conoce como “Coexistencia y Coprosperidad”. El incremento de las poblaciones de microorganismos en el suelo a través de su aplicación, promueve el desarrollo de microorganismos benéficos ya existentes en el suelo (Higa, 2008).

En la incorporación de microorganismos a los residuos de caña de azúcar, con el fin de eliminar la basura y aprovechar el material descompuesto como coadyuvante de la fertilización son pocos estudios previos realizados hasta la fecha. (Higa, 2008).

## **2.6. USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA ACELERAR LA DESCOMPOSICIÓN**

Sanomiya, Assis de Oliveira y Vahas (2006) realizaron un estudio con el propósito de determinar las variables relacionadas al ciclo del carbono a 90 días, los tratamientos evaluados fueron de 0; 0.5 y 1.0% de paja, en la presencia y ausencia de vinaza y un fertilizante nitrogenado. Los resultados mostraron que al aumentar la paja (0.5% a 1%) se produjo un aumento de CO<sub>2</sub> de 2 a 3 veces más. Esto es considerado como el resultado de la mineralización, debido al aumento de la actividad microbiana. El tratamiento con vinaza mostró aumento en la producción de CO<sub>2</sub> en un 39%. El tratamiento con nitrógeno mostró menores resultados en comparación al tratamiento sin vinaza.

En el estudio anterior, se concluyó la relación que tienen los microorganismos con respecto a la fuente de carbono, ya que para una buena población de los mismos la relación carbono:nitrógeno ideal es de 20:1, y al agregar a los residuos la vinaza se aumentó la producción de CO<sub>2</sub> y por lo tanto, también aumentó la actividad de los microorganismos.

Boopathy et al., (2001) reportaron un aumento del número de bacterias y hongos celulolíticos en suelo adicionado con paja de caña de azúcar. Relacionaron el aumento de la degradación de la celulosa con el aumento de la biomasa microbiana. Cuando la vinaza fue agregada al suelo, la producción de CO<sub>2</sub> fue un 39% mayor en relación al control sin vinaza. Este resultado se debió, probablemente, al aumento de la actividad microbiana por la contribución de la fuente de carbono disponible aportada por la vinaza favoreciendo el metabolismo microbiano.

### **2.6.1. Microorganismos eficientes**

Desde la década de 1980, el sistema de Agricultura Natural Kyusei (Kyusei Natural Farming), ha ganado amplio reconocimiento por su innovador uso de preparados microbianos conocidos como Microorganismos Eficientes. Estos fueron desarrollados por el profesor Doctor Teruo Higa, investigador en Horticultura de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Rosales, 2009).

Erazo (2009) evaluó la aplicación de microorganismos para la descomposición en caña de azúcar, y concluyó que todos los hongos y bacterias obtenidas de los mismos influyen positivamente en el cultivo de caña de azúcar. El hongo *Trichoderma* influye en el sistema radicular haciendo que las mismas se profundicen y logren mayor resistencia a las sequías, pero uno de los efectos más favorables es que puede llegar a degradar herbicidas órganoclorados y clorofenoles y otros como los DDT evitando la fitotoxicidad en los cultivos.

Higa y Parr (2009) da el concepto de lo que son los microorganismos eficaces, e indica que consiste en cultivo mixto de microorganismos benéficos, de ocurrencia natural que pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbial de los suelos y plantas. El EM no es sustituto de otras prácticas de manejo. Es una herramienta adicional para optimizar y mejorar las prácticas de manejo del suelo y cultivos.

Los microorganismos eficientes al entrar en contacto con material orgánico, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y fundamentalmente sustancias antioxidantes. A través de los efectos antioxidantes promueven la descomposición de la materia orgánica (Rosales, 2009).

La presentación del EM es líquida y contiene microorganismos útiles y seguros. Se utiliza con la materia orgánica para enriquecer los suelos y para mejorar la flora y labranza. Los microorganismos contenidos en el EM se encuentran en estado latente y por lo tanto se utiliza para hacer otros productos secundarios de EM. El EM activado y el EM, son nombres diferentes para un mismo producto. (Rosales, 2009).

Para activar los EM es necesaria la siguiente dosificación, 3% de EM, y un 5% de melaza de caña de azúcar diluido en un 92% de agua de buena calidad, colocado en un recipiente herméticamente cerrado (Rosales, 2009).

Los microorganismos EM consisten de varios elementos que pueden tener múltiples beneficios según sea el caso: bacterias ácido lácticas que producen ácido láctico que es sintetizado por las bacterias fotosintéticas y levaduras. El ácido láctico puede suprimir microorganismos nocivos como el *Fusarium* sp., ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca. Otro elemento importante es la levadura que degradan las proteínas complejas y carbohidratos, producen sustancias bio-activas (vitaminas, hormonas, enzimas) que pueden estimular el crecimiento y la actividad de otras especies de EM, así como de plantas superiores (Rosales, 2009).

Rosales (2009), menciona que las bacterias fotosintéticas que pueden fijar el nitrógeno atmosférico y el bióxido de carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y carbohidratos, también sintetizan sustancias bio-activas. Los actinomicetos funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos.

Según Rosales (2009) los EM son cien por ciento naturales de bacterias anaeróbicas y aerobias, no patógenas generadoras de enzimas hidrolíticas. Su formulación es en forma de células micro-encapsuladas suspendidas en biopolímero, y certificado como orgánico y como ingredientes activos se pueden mencionar:

1. *Azotobacter vinelandii*, esta es reconocida como la única bacteria capaz de fijar nitrógeno en condiciones de total aerobiosis
2. *Clostridium pasteurianum*, es un microorganismo estrictamente anaerobio que permite una fijación no simbiótica del nitrógeno atmosférico dejándolo accesible a plantas sin necesidad de establecer una relación de simbiosis.
3. *Nitrosomas* sp., oxidan el nitrito formando nitratos.
4. *Nitrobacter* sp., oxida nitritos para formar nitratos.
5. *Nitrococcus* sp., aumentan la actividad microbiana de suelo y agua, teniendo un efecto nitrificante.
6. *Micrococcus* sp., es utilizado para la realización de detoxificación o biodegradación de contaminantes industriales.
7. *Lactobacter* sp., es altamente eficiente en la fijación de nitrógeno atmosférico.
8. Termoactinomicetos y actinomicetos, son reconocidos por fijar el nitrógeno atmosférico.
9. *Lactobacillus* sp., presentan ventajas prebióticas.
10. *Bacillus subtilis*, tienen variadas aplicaciones industriales como fuente de antibióticos naturales contra bacterias y hongos patógenos.
11. *Bacillus cereus*, ayudan a reducir olores en aguas residuales.
12. *Bacillus megaterium* y *Rhizobium* sp., son fijadores de nitrógeno.

### **2.6.2. Té de compost**

El té de compost es una terminología moderna, sin embargo, la utilización de extractos biológicos data desde hace miles de años por diferentes culturas (griegos, egipcios y mayas), pero sólo actualmente a través del uso de bombas que suministran aire se han logrado obtener soluciones biológicas de microorganismo aeróbicos, siendo estos los microorganismos benéficos del suelo (Ingham, 2003).

El té de compost es un extracto acuoso de alta actividad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del compost. Además, para estimular y favorecer el crecimiento de los microorganismos en el té, se agregan fuentes de nutrientes, como melaza, harina de pescado, extractos de algas marinas, polvo de roca, ácidos húmicos, entre otros.(Ingham, 2003).

Ingham (2003) indica que un buen té puede tener una diversidad tan alta como 25.000 especies, lo que incluye principalmente bacterias, hongos, protozoos, nemátodos, entre otros. Además, estableció estándares de calidad según la abundancia de microorganismos en el compost y en el té, destacando que un buen té puede tener una cantidad de bacterias del orden de 1000 individuos por mL. Para lograrlo, es fundamental proporcionar una concentración adecuada de oxígeno, el que alcanza un máximo de consumo en 16 – 20 horas desde el inicio de la operación y el cual no debiera tener una concentración menor de 5 ppm, Así, se asegura que los microorganismos generados se mantengan vivos y activos, logrando un producto de óptima calidad. En el cuadro 1 se muestran los rangos adecuados de diferentes organismos presentes en un té de compost.

**Cuadro 1. Rangos adecuados de diferentes organismos en compost y té de compost.**

<b>Organismos</b>	<b>Compost (por gramo seco)</b>	<b>Té de Compost (por mL)</b>
<b>Bacterias activas (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	15 – 30	10 -150
<b>Bacterias totales (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	150 -300	150 -300
<b>Hongos activos (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	2 – 10	2 - 10
<b>Hongos totales (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	150 -200	feb-20
<b>Protozoos Flagelados (N°)</b>	10000	1000
<b>Protozoos Ameboides (N°)</b>	10000	1000
<b>Protozoos Ciliados (N°)</b>	20 -50	20 - 50
<b>Nematodos benéficos (N°)</b>	50 – 100	2 - 10

(Fuente: Ingham, 2003)

Existen diferentes formas de elaborar un té de compost. La calidad del mismo dependerá de los materiales que sean utilizados. Según Ingham (2003), un té de compost puede ser preparado según los componentes y cantidades que se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2. La formulación comúnmente utilizada para 100 L de agua.**

Lombricompost (kg)	3
Harina de pescado (50% proteína) (g)	300
Melaza (mL)	100
Algas marinas solubles(mL)	100

El té de compost debe ser aplicado a los residuos de caña de azúcar inmediatamente después de su preparación, ya que sin oxigenación, va gradualmente disminuyendo su calidad biológica (Edwards et al., 2007), tolerándose un plazo máximo de hasta 5 horas para mantener viva su microbiología.

### **2.6.3. Té de Compost elaborado a partir de Lombricompost**

Larco (2004) menciona que la actividad bananera y platanera genera una gran cantidad de desechos orgánicos, que alcanzan el 20% de la producción total y se estima que el 50% de esta producción es empleada en la industria, alimentación humana y animal. Por lo tanto el 50% restante, representa un costo económico y ecológico alto. Una de las alternativas de gran importancia para el manejo racional de este tipo de desechos es el compostaje. Sin embargo, los desechos de banano y plátano antes de ser inoculados con lombrices de tierra, necesitan una etapa de precomposteo, con estabilización en cinco semanas, en lo que respecta a temperatura y pH.

Córdoba (2009) evaluó dos tipos de compost y un testigo, los tratamientos fueron el primero un compost de caña, el segundo compost de caña y café.

A estos dos se les agregó biofertilizante mientras que el testigo fue sin compost ni biofertilizante, donde se concluyó que el tratamiento dos que es el compost de caña más el compost de café mas biofertilizante, mostró una fuente diversa de nutrientes a la microflora edáfica, estimulando el aislamiento de bacterias no filamentosas y hongos. También se pudo concluir que en todos los tratamientos aumentó su abundancia y diversidad después de aplicar materia orgánica y fertilizante.

La descomposición aeróbica del estiércol y de otras materias orgánicas se ve favorecida por temperaturas superiores a 40°C, lo que también le permite eliminar patógenos y semillas de malezas. El producto final de este proceso es la obtención de una excelente enmienda orgánica y fertilizante con una buena población microbiana benéfica (Córdoba, 2009).

En América Latina el cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas. El proceso inicial del beneficiado húmedo consiste en la eliminación de la cubierta externa del fruto, pulpa de café, que representa el 40% del peso fresco del fruto y es considerada como un subproducto de desecho. La pulpa fresca posee contenidos de humedad superiores al 85% lo que constituye la mayor desventaja en cuanto a transporte, manejo y procesamiento (Córdoba, 2009).

A pesar de diversas opciones para utilizar la pulpa de café, la producción de abono es la más utilizada y es una alternativa acorde con la conservación del ambiente; por lo tanto, el compostaje y la lombricultura surgen como opciones importantes para transformar esa fuente de contaminación y degradación de los recursos naturales en un abono de excelentes características físicas, químicas y biológicas (Córdoba, 2009).

#### **2.6.4. Vinaza**

La vinaza es un residuo de la producción de etanol, el cual es un carburante a base de alcohol, proveniente como subproducto de la producción de azúcar, de la caña de azúcar (Gómez, Flores, Correa y Molina, 2009).

Según Quintero, Cadena y Briceño (2006) los altos contenidos de materia orgánica en la vinaza y su aplicación en residuos de cosecha o en subproductos obtenidos en la elaboración del azúcar incrementan la actividad microbiana que acelera el proceso de descomposición y reduce el tiempo de la preparación de abonos orgánicos; igualmente, aumentan los contenidos de potasio, calcio y azufre en el abono orgánico.

#### **2.6.5. Características y Descripción de la Vinaza**

Ferreira y Montenegro (1987), mencionan que la vinaza es un insumo para uso en agricultura orgánica. Podemos decir que la vinaza concentrada es un producto que se genera durante la producción de alcohol etílico a partir de mieles de caña de azúcar, tiene aplicaciones como fertilizante de cultivos por su alto contenido de minerales.

### **2.6.6. Nitrógeno**

Osorio (2004) indica que el nitrógeno es uno de los elementos más escasos en los suelos de todo el mundo, aunque el aire está compuesto del 78% de nitrógeno pero el cual las plantas no pueden utilizar directamente. El contenido de nitrógeno en el suelo depende también del reciclaje de la materia orgánica. Los residuos de plantas y animales retornan al suelo donde se mineralizan o se descomponen por acción de los microorganismos, convirtiéndose en humus, el cual actúa como un depósito liberando gradualmente los elementos N,P,S y micronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas. (Osorio, 2004).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La producción de altas cantidades de residuos durante la cosecha mecanizada de caña de azúcar y su permanencia en el campo por largo tiempo, crea dificultades para ejecutar limpiezas manuales y fertilizaciones. También es causante de enfermedades fungosas y ayuda a la proliferación de plagas como la chinche salivosa (*Aenolamia* sp.) en su estado de ninfa. Por otro lado, reduce el rendimiento de mano de obra para otras labores de cultivo y aumenta la probabilidad de que los trabajadores puedan ser atacados por abejas, serpientes o escorpiones. Los residuos de la cosecha en verde mecanizada aumentan la probabilidad de quemaduras accidentales en los rebrotes de caña soca.

Por tanto, existe la necesidad de generar información sobre la forma en que se puedan solventar tales problemas y desarrollar tecnología para acelerar la descomposición de los residuos. En Guatemala no existen estudios sobre la descomposición de residuos de caña de azúcar provenientes de la cosecha mecanizada. En Colombia se han hecho algunos con la variable de aplicación de un biofertilizante, aunque los resultados pueden variar de región a región.

Este estudio se fundamenta en las diferencias que pueden existir en las comunidades microbianas que se desarrollan en los diferentes materiales orgánicos en descomposición. Así por ejemplo, Larco (2004), indica que los residuos en descomposición ricos en fibra o sea vegetales jóvenes, contienen dentro de su población microbiana, mayor abundancia de microorganismos que degradan fácilmente los carbohidratos de cadena larga, ya que estos contienen menor cantidad de nitrógeno que carbono, mientras que residuos ricos en nitrógeno y azúcares, contendrán una población microbiana con mayor abundancia de organismos proteolíticos y amilolíticos que atacan los tejidos más tiernos.

La realización del presente trabajo de tesis pretende encontrar un mecanismo para acelerar la descomposición de los residuos y con ello, disminuir las molestias del exceso de residuos que se produce en la cosecha mecanizada. Además de buscar la rápida estabilización de residuos en el suelo en la forma de un compost que coadyuve a la fertilización del cultivo y a favorecer otras propiedades del suelo para mejorar su calidad. El manejo adecuado de los residuos y la adición de un acelerador de la descomposición favorecerán una menor permanencia en el campo, contribuirá a estimular la cosecha en verde y con ello reducir los aportes de gases contaminantes producidos durante la quema de caña de azúcar.

A largo plazo, se esperaría que el manejo adecuado de los residuos contribuya a mejorar la estructura del suelo mediante la descomposición de los residuos, ya que estos en su descomposición proporcionan materia orgánica y nutrientes al suelo también evita mayor erosión del suelo y colabora a mantener mayor retención de agua que favorece al cultivo durante los primeros meses.

Los tratamientos utilizados en ésta investigación fueron evaluados en una sola dosis. En el caso de los microorganismos eficientes (EM) se utilizó la dosis recomendada por el proveedor, mientras que en el resto de tratamientos, se tomaron como base estudios no publicados por Ingenio Pantaleón donde han hecho incorporación de cachaza, aplicaciones de vinaza y Nitrógeno. Además fue incluida una variable adicional consistente en el volteo o no de los mismos, como un mecanismo adicional para favorecer la descomposición de residuos.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto de diferentes productos químicos y biológicos y de la acción del volteo, sobre la descomposición de los residuos de caña de azúcar, con el propósito de contribuir al desarrollo de una práctica que facilite el manejo de los residuos en los campos con cosecha mecanizada en verde.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer el efecto del uso de productos químicos y biológicos, en presencia y ausencia de volteos, sobre el proceso de la descomposición de los residuos mediante el registro de la temperatura y de sus características físicas (color, olor y grado de fragmentación)
- Determinar la evolución del CO<sub>2</sub> como indicador de la actividad biológica, durante el proceso de descomposición de los residuos en los diferentes tratamientos, mediante análisis de muestras tomadas mensualmente.
- Determinar las características químicas en el producto final de la descomposición de los residuos, en los diferentes tratamientos.
- Seleccionar el tratamiento de menor costo y facilidad de aplicación que permita una reducción de tiempo para la descomposición de los residuos según los indicadores utilizados, para recomendar su validación en condiciones de campo.

## **V. HIPÓTESIS**

El uso de productos biológicos y el volteo de residuos superarán al uso de productos químicos con o sin volteo, en reducir el período de la descomposición de los residuos de caña de azúcar, según indicadores de temperatura, características físicas, químicas y actividad biológica.

Al menos uno de los tratamientos utilizados será efectivo para reducir el tiempo de descomposición de los residuos a un menor costo y con mayor facilidad de aplicación.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

El experimento se instaló en el campo experimental de CENGICAÑA, durante la segunda quincena del mes de abril de 2010, y tuvo una duración de 204 días desde la aplicación de los productos hasta la obtención del producto final. Las actividades previas a la aplicación de los tratamientos consistieron en la recolección de los materiales a utilizar, la determinación química del residuo de la caña de azúcar, la elaboración de los extractos y la estimación de la cantidad de residuos por área a fin de que fuera representativa de lo que permanece en el campo luego de la cosecha.

### 6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

En el cuadro 3 se muestran las características de los residuos utilizados, este fue tomado a partir de 3 sub muestras del material de residuo a utilizar para determinar los % de los elementos químicos del material total.

**Cuadro 3. Características de los residuos de caña de azúcar utilizados en el experimento.**

<b>Residuos</b>	<b>N</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b>
Muestra	%	-----	-----	-----	-----
1	0.32	0.08	0.07	0.36	0.03
2	0.37	0.09	0.09	0.95	0.10
3	0.42	0.13	0.08	0.34	0.08
4	0.44	0.13	0.10	0.47	0.11
Media	0.39	0.11	0.08	0.53	0.08

En el cuadro 4 se muestran las características químicas de los extractos utilizados presentando muy baja concentración de nutrientes. Entre ellos la vinaza y cachaza presentaron el mayor contenido de N, pero el potasio fue mayor en la vinaza.

**Cuadro 4. Características químicas de los extractos utilizados en el experimento.**

Identificación	Nitrógeno	Ca	Mg	K	P
			%		
Vinaza	0.24	0.10	0.04	1.05	0.02
Cachaza	0.24	0.04	0.00	0.03	0.00
Lombricompost	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00
Bagazo	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00
Organismos Eficientes	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00

### 6.3. FACTORES A ESTUDIAR

Los factores evaluados fueron:

1. Producto químico o biológico
2. Volteo

### 6.4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se utilizaron residuos provenientes de la industria azucarera, cachaza y bagazo en descomposición con lo cual se elaboraron extractos de compost, así mismo se obtuvo un extracto de lombricompost elaborado con pulpa de café. Además fue evaluada la aplicación de microorganismos eficientes (EM) y como compuestos químicos, aplicación de Urea 3% y vinaza. Fue incluido también un tratamiento testigo, al cual no se le aplicó ningún estimulador de descomposición.

En el cuadro 5 se presentan los 14 tratamientos evaluados.

**Cuadro 5. Descripción de los tratamientos evaluados**

No	Tratamiento	FACTOR	Dosis / Parcela
1	Extracto de bagazo de caña	Con volteo	20 l
2	Extracto de compost de Cachaza	Con volteo	20 l
3	Extracto de lombricompost	Con volteo	20 l
4	Organismos (EM)	Con volteo	20 l
5	Vinaza	Con volteo	20 l
6	Urea 3%	Con volteo	20 l
7	Testigo (residuo de caña)	Con volteo	
8	Extracto de bagazo de caña	Sin volteo	20 l
9	Extracto de compost de cachaza	Sin volteo	20 l
10	Extracto de lombricompost	Sin volteo	20 l
11	Organismos (EM)	Sin volteo	20 l
12	Vinaza	Sin volteo	20 l
13	Urea 3%	Sin volteo	20 l
14	Testigo (residuo de caña)	Sin volteo	

De todos los extractos, se pesaron 20 libras que fueron colocadas en costales de manta depositándolos en los toneles. Se agregaron 200 lts de agua y 400 ml de melaza, también 5.0 lbs de cal para que no produzca mal olor, dejando durante 7 días en reposo previo a su utilización, con el fin de lograr una buena fermentación.

Para el tratamiento de microorganismos eficientes (EM) se procedió a la activación del producto de la siguiente manera: 1 litro de organismos EM + 1 litro de melaza + 18 litros de agua para obtener una cantidad de 20 litros, los cuales se mezcló en 200 litros de agua.

En el tratamiento de urea, se usó 5 libras en 200 litros de agua.

## **6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar en arreglo factorial 7 x 2 con 4 repeticiones.

En este caso:

Factor 1: volteo

Factor 2: producto estimulador (té o extractos, vinaza, Urea 3% y testigo)

## **6.6. MODELO ESTADÍSTICO**

El modelo estadístico del diseño utilizado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + A_iB_j + R_j + E_{i.k} + E_{ijk}$$

En dónde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta asociada a la i-j-k-ésima unidad experimental.

$U$  = media general.

$A_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor A.

$B_j$  = Efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$A_iB_j$  = Efecto de la posible interacción entre el i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B.

$R_j$  = Efecto del j-ésimo bloque.

$E_{i.k}$  = Error experimental asociado a las parcelas grandes.

$E_{ijk}$  = Error experimental asociado a la i-j-k-ésima unidad experimental (parcela pequeña).

## **6.7. UNIDAD EXPERIMENTAL**

La unidad experimental consistió en una parcela de 2 x 1.75 metro (3.50m<sup>2</sup>) dejando un metro entre cada parcela. En cada parcela fueron colocados los residuos, pesando 16 libras de los mismos para obtener una altura aproximada de 10 cm, a modo de simular la cantidad de residuos dejados en el campo.

## 6.8. CROQUIS DE CAMPO

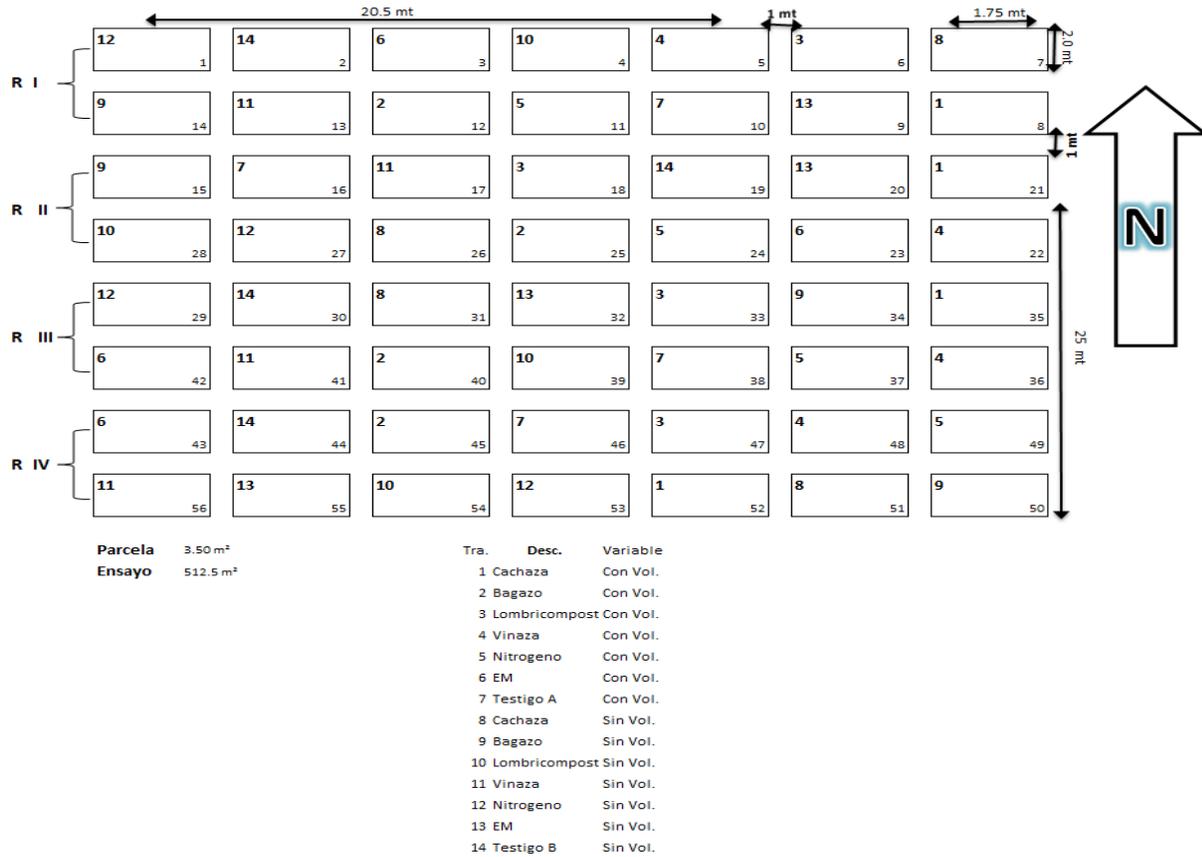


Figura 1. Croquis del experimento

## 6.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

### 6.9.1. Actividades antes de la aplicación

Se procedió a preparar el terreno realizando una limpia manual seguida de un paso de rastra para eliminación de residuos. El área fue dimensionada para ubicación de los bloques y dentro de cada bloque se delimitaron las unidades experimentales.

Se prepararon los diferentes extractos de compost procediendo a recolectar muestras de los materiales para determinar el análisis químico, con especial atención a la relación C/N.

### **6.9.2. Preparación del té de compost y activación de microorganismos**

Previo al montaje del experimento se elaboraron los diferentes extractos evaluados en la forma de un té de compost. Estos fueron preparados separadamente en toneles de metal de 200 litros de capacidad utilizando bagazo de caña colectado en áreas de deposición de este residuo y en estado de descomposición parcial, cachaza fermentada igualmente obtenida de áreas de deposición de este residuo y lombricompost obtenido de pulpa de café (Lombrifert).

De estos materiales, se pesaron 20 libras que fueron colocadas en costales de manta depositándolos en los toneles. Se agregaron 200 lts de agua y 400 ml de melaza, también 5.0 lbs de cal para que no produzca mal olor, dejando durante 7 días en reposo previas a su utilización, con el fin de lograr una buena fermentación. Una segunda mezcla de extractos fue preparada 7 días antes de la segunda aplicación, ya que cada parcela fue tratada dos veces con la respectiva aplicación de tratamiento.

Para el tratamiento de microorganismos eficientes (EM) se procedió a la activación del producto de la siguiente manera: 1 litro de organismos EM + 1 litro de melaza + 18 litros de agua para obtener una cantidad de 20 litros.

Para el tratamiento de vinaza, esta se preparó a una concentración de 10%.

### **6.9.3. Estimación de las dosis de vinaza y urea**

Para el tratamiento de vinaza se aplicó una cantidad necesaria para mojar el residuo y para el tratamiento de Urea 3% se aplicó una dosis suficiente para llevar la relación C/N a 25:1, del material a descomponer, habiéndose estimado la dosis de 5 libras de urea en 200 litros de agua.

#### **6.9.4. Recolección de residuos y traslado al área experimental**

Se recolectaron los residuos de un pante de la Finca Limones, del Ingenio Pantaleón, recientemente cosechado. Éstos se distribuyeron en parcelas de 2 x 1.75 m, procurando que todas las parcelas llevaran 16 libras, de residuos, basado en el peso de los residuos hasta obtener una altura de 10 cm.

De estos residuos se colectó una muestra para su caracterización química y particularmente para determinar la relación C/N, la cual nos sirvió para calcular la dosis de Urea 3% a utilizar. De inmediato, después de la colocación de los residuos se procedió a aplicar los tratamientos, según el esquema del diseño experimental (6.8. Croquis de campo)

#### **6.9.5. Conducción del experimento**

Los productos biológicos fueron aplicados en dos tiempos: al inicio del experimento y a los 5 días, (luego de la fase termófila), con el propósito de lograr una mayor eficacia de la inoculación. Los volteos fueron realizados a los 5 días en los tratamientos con volteo (antes de la segunda aplicación). Posteriormente los volteos fueron realizados cada semana en el primer mes y luego una vez por mes. La aplicación de los productos se realizó con regadera de jardín.

#### **6.9.6. Riego área experimental**

Siendo la humedad un factor importante en la descomposición de los residuos, este se realizó en el inicio del experimento. Posteriormente se realizó el monitoreo diario de la humedad, en forma visual y al tacto. En caso de encontrarse demasiado seco con un % de 25 a 30% de humedad se procedió a aplicar riego con aspersor de jardín, estandarizando la cantidad de agua en cada parcela durante tres horas.

Tomando en cuenta que el % de humedad adecuado para una buena descomposición la mínima está entre un 40% y la máxima un 60% de humedad.

### 6.9.7. Muestreo de residuos

Mensualmente se procedió a tomar una muestra de cada parcela donde se realizó el análisis físico, anotando las características de olor, color y fragmentación del material, para lo cual se utilizó escala para evaluar el grado de descomposición de residuos provenientes de la producción de café que se presenta en el cuadro 6. Se utilizó esta tabla porque aún no existe una especial para el cultivo de caña de azúcar.

**Cuadro 6. Escala de degradación de residuos para tratamientos**

No	Estado	Descripción
1	Semi – Fresco	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Fragmentos grandes color verde amarillento.</li><li>✓ Humedad a 40%.</li><li>✓ Estado semiseco.</li><li>✓ Olor a yerba.</li><li>✓ Aspecto tosco.</li></ul>
2	Ligeramente Descompuesto	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Residuos quebradizos con facilidad</li><li>✓ Color café oscuro.</li><li>✓ Humedad a 40%.</li><li>✓ Olor a fermentación fuerte.</li><li>✓ Presencia de hongos actinomicetos.</li><li>✓ Masas blancas o verdes.</li></ul>
3	Medianamente Descompuesto	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Color oscuro.</li><li>✓ Color oscuro negruzco.</li><li>✓ Olor a fermentación.</li><li>✓ Olor agridulce.</li><li>✓ Se identifican algunas fibras.</li></ul>
4	Descompuesto	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Residuos desmenuzados de color intenso.</li><li>✓ No se observan fibras y si se encuentran se desasen al tacto.</li></ul>
5	Totalmente Descompuesto	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ No se observa ninguna fibra.</li><li>✓ Su aspecto es fino similar al humus.</li><li>✓ Tienden a confundirse con frac de suelo al exponerse a luz directa.</li></ul>

Fuente: (Anacafé, 2009)

En el inicio y al final del experimento se realizó un análisis químico completo de los residuos. Mensualmente se tomó una muestra para determinar la evolución del CO<sub>2</sub> en

cada tratamiento y repetición. Al final del experimento, se pesó el total de residuo descompuesto en cada parcela.

## 6.10. VARIABLES DE RESPUESTA

a) **Temperatura (°C):** Se realizaron lecturas de temperatura, dos veces al día en los primeros cinco días (9:00 y 16:00 horas), una vez cada dos en la siguiente semana y luego cada tres días (9:00 horas) hasta que no se detectaron cambios significativos. Las lecturas fueron realizadas colocando el termómetro en tres puntos de la parcela a una profundidad media y anotando el promedio.

b) **Grado de descomposición:** Las características color y olor y aspecto de los residuos descompuestos fueron utilizadas para determinar el grado de descomposición, según escala mostrada en el cuadro 6.

### c) **Propiedades químicas:**

En el análisis químico se determinaron las cantidades de carbono, nitrógeno, al inicio del ensayo.

**Cuadro 7. Descripción de los análisis efectuados**

No.	Análisis Realizados
1	Nitrógeno
2	Fosforo
3	Potasio
4	CO <sub>2</sub>

d) **Producción de CO<sub>2</sub>:** fue realizada mediante la colocación de 20 gramos de muestra en recipiente herméticamente cerrado, en cuyo interior se colocaron 10 ml de NaOH, 0.5 M. El recipiente se incubó a 25°C durante 5 días. El proceso químico consiste en atrapar el CO<sub>2</sub> producido durante la descomposición en solución NaOH 1 M, llevando a la formación de bicarbonato de sodio. Este se precipita mediante la adición de BaCl<sub>2</sub> y el NaOH restante se titula con HCl 0.5 M.

El CO<sub>2</sub> producido durante el período de incubación es un indicador de la actividad biológica durante la descomposición, Sanomiya, Assis de Oliveira y Vahas (2006)

e) **Días a descomposición:** este fue contado desde el primer día que se aplicaron los tratamientos hasta donde se logró estabilizar el producto en evaluación.

f) **Costo por día descomposición:** se determinó teniendo el costo por cada uno de los tratamientos entre la suma de días de descomposición de su respectivo tratamiento.

## **6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **6.11.1. Análisis Estadístico**

Para el análisis de cada una de las variables medidas se realizó el análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el paquete estadístico InfoStat (2008) (InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) Así mismo se realizaron pruebas de medias tukey utilizando la prueba DMS (diferencias mínimas significativas) al 0.05.

### **6.11.2. Análisis económico**

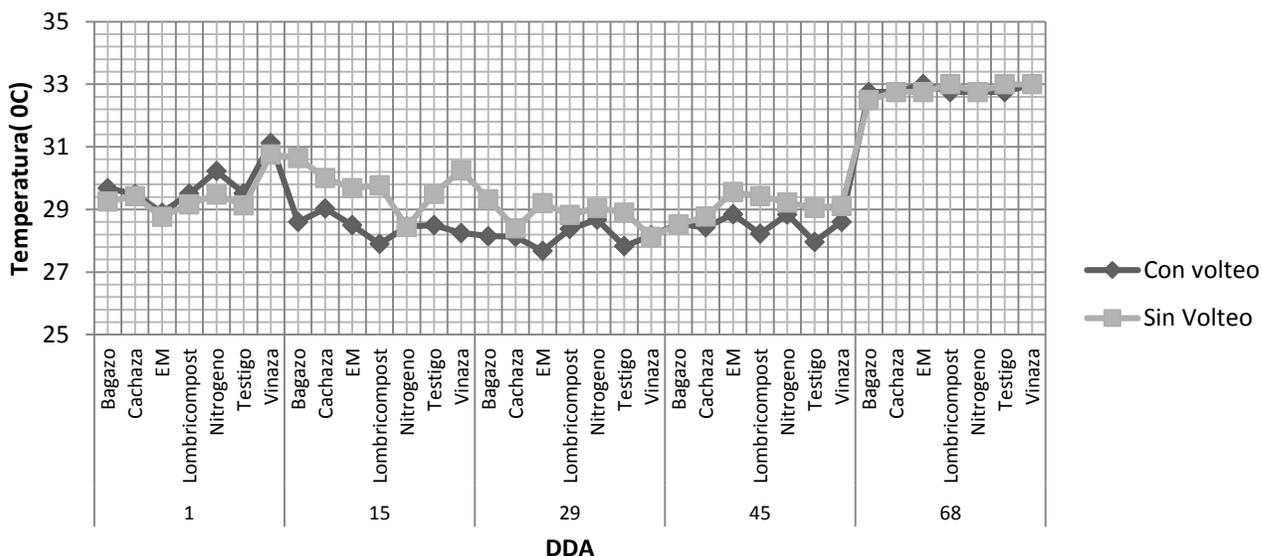
Dicho análisis se realizó mediante comparación del costo de los productos utilizados en cada tratamiento, así como en base a una estimación de mano de obra en los tratamientos con volteo.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 TEMPERATURA

La variable temperatura es muy importante durante el proceso de compostaje debido a que a medida que se incrementa la temperatura elimina bacterias patógenas, los virus, etc. Por eso mismo debe de monitorearse constantemente durante todo el tiempo de descomposición. En la gráfica 1 se muestran las temperaturas alcanzadas en las parcelas a diferentes días después de la aplicación (DDA) de los productos. La temperatura adecuada para un buen compostaje esta 60°C.

#### Temperatura en °C- dias despues de la aplicación



**Figura 2. Comportamiento de la temperatura a través del tiempo**

Se logra observar que al inicio existía una ligera diferencia entre voltear y no voltear, así continua en todo el proceso de descomposición, por lo que se decidió realizar un análisis de varianza para la variable temperatura para determinar con que producto se producía el mayor valor de temperatura, por lo mencionado anteriormente. Los valores se mantuvieron entre 27 a 33°C.

**Cuadro 8. ANDEVA para la variable temperatura a los 68 días después de la aplicación de tratamientos.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.29	16	0.33	8.79	<0.0001 **
Producto	1.74	6	0.29	7.71	<0.0001 **
Volteo	1.51	1	1.51	40.17	<0.0001 **
Bloque	1.55	3	0.52	13.73	<0.0001 **
Producto*Volteo	0.49	6	0.08	2.16	0.0681 NS
Error	1.47	39	0.04		
Total	6.76	55			

El análisis de varianza muestra que existieron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.0001$ ) entre los tratamientos; por efecto del producto aplicado y el volteo, así mismo la interacción entre ambos tratamientos producto\*volteo. Por lo que se realizó una prueba de medias Tukey, para determinar que tratamiento alcanzó las mayores temperaturas durante el tiempo de descomposición de 114 días (significancia del  $p \leq 0.05$ ), resultados se presentan en el cuadro 9.

**Cuadro 9. Prueba de medias de la variable temperatura del total de tratamientos.**

Producto	Volteo	Medias <sup>o</sup> C	Grupo Tukey		
Vinaza	Sin Volteo	29.79	A		
Urea 3%	Sin Volteo	29.27	B		
Lombricompost	Sin Volteo	29.25	B		
Cachaza	Sin Volteo	29.24	B		
Vinaza	Con volteo	29.23	B	C	
Testigo	Sin Volteo	29.22	B	C	
EM	Sin Volteo	29.22	B	C	
Urea 3 %	Con volteo	29.14	B	C	D
Bagazo	Sin Volteo	29.05	B	C	D
Cachaza	Con volteo	29.03	B	C	D
EM	Con volteo	28.96	B	C	D
Bagazo	Con volteo	28.96	B	C	D
Lombricompost	Con volteo	28.75		C	D
Testigo	Con volteo	28.68			D

De acuerdo al cuadro anterior, se observa que el tratamiento con vinaza sin volteo, presentó mayor temperatura, que estadísticamente fue superior a los demás tratamientos superando al testigo. La menor temperatura fue alcanza por el tratamiento testigo, que no fue diferente a los tratamientos Urea 3%, cachaza, EM, bagazo y lombricompost con volteo así mismo no existió diferencia con el tratamiento de bagazo sin volteo.

Como se observa en el cuadro 9, la temperatura no logró alcanzar un valor elevado como se observa en la fase termófila de la elaboración de compost, cuyo caso pueden ser alcanzados hasta 70°C. Esto es explicable ya que trató de simular el volumen de los residuos dejados en el suelo durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. Esto puede tener influencia sobre la velocidad de descomposición de los residuos ya que demoraría el tiempo en comparación a una pila de compost En el caso de no aplicar microorganismos a los residuos en el campo esto llevaría un tiempo estimado de 225 a 300 días de descomposición.

**Cuadro 10. Prueba de medias de la variable temperatura por efecto del factor producto.**

Producto	Medias°C	Grupo Tukey
Vinaza	29.51	A
Urea 3%	29.20	B
Cachaza	29.13	B
EM	29.09	B
Bagazo	29.00	B
Lombricompost	29.00	B
Testigo	28.95	B

En el cuadro 9, se puede observar que el tratamiento que alcanzó el mayor valor de temperatura estadísticamente diferente a todos los demás fue el producto con vinaza no incluyendo el factor volteo. El resto de los demás productos estadísticamente no existieron diferencias. La prueba de medias se realizó con el comparador Tukey con  $p \leq 0.05$ .

**Cuadro 11. Prueba de medias de la variable temperatura por efecto del factor volteo.**

Volteo	Medias°C	Grupo Tukey
Sin Volteo	29.29	A
Con volteo	28.96	B

Según se puede observar en el cuadro 11, el no voltear influye en el incremento de la temperatura, debido a que presenta valores superiores de temperatura en comparación al volteo, por lo que se esperaría que la descomposición fuera más rápida en las parcelas sin volteo. En el cuadro 9 podemos demostrar que no se logró alcanzar la temperatura adecuada debido al volumen del compost que fue utilizado.

## 7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

**Cuadro 12. ANDEVA para la variable Nitrógeno (%) en los residuos, en los diferentes tratamientos.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.26	16	0.02	3.3	0.0012 **
Producto	0.18	6	0.03	6.02	0.0002 **
Volteo	0.01	1	0.01	1.26	0.2684 NS
Bloque	0.05	3	0.02	3.44	0.0258 *
Producto*Volteo	0.02	6	4.10E-03	0.84	0.5494 NS
Error	0.19	39	4.90E-03		
Total	0.45	55			

El análisis de varianza realizado para la variable contenido de Nitrógeno, muestra que existieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, por efecto del producto aplicado, no siendo así por efecto del factor volteo, el cual no influyó en que existiera un mayor contenido de Nitrógeno de los residuos descompuestos. Así mismo la interacción entre producto y volteo no resultó en significancia estadística. Por lo que se realizó una prueba de medias Tukey, para todos los tratamientos (significancia del  $p \leq 0.05$ ) cuyos resultados se presentan en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Prueba de medias producto en el contenido de Nitrógeno.**

Producto	Medias (% N)	Grupo Tukey		
Urea 3%	0.67	A		
Vinaza	0.64	A	B	
EM	0.56		B	C
Testigo	0.55		B	C
Lombricompost	0.55		B	C
Bagazo	0.51			C
Cachaza	0.51			C

Según prueba de medias realizada con el comparador Tukey ( $p \leq 0.05$ ), el residuo que presentó mayor contenido de Nitrógeno fue aquel en el cual se aplicó Urea para favorecer la descomposición, seguido del residuo donde se aplicó vinaza. Los menores en contenido de Nitrógeno fueron los residuos donde se aplicó extracto de cachaza y bagazo, ya que estos materiales de cachaza y bagazo presentan una mayor relación carbono:nitrógeno.

**Cuadro 14. ANDEVA para la variable contenido de fósforo en los residuos, en los diferentes tratamientos.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.01	16	5.30E-04	2.26	0.0194 *
Producto	1.50E-03	6	2.60E-04	1.09	0.3843 NS
Volteo	2.20E-04	1	2.20E-04	0.92	0.3429 NS
Bloque	0.01	3	2.20E-03	9.29	0.0001 **
Producto*Volteo	1.70E-04	6	2.90E-05	0.12	0.9931 NS
Error	0.01	39	2.30E-04		
Total	0.02	55			

En el cuadro 14, se puede observar que no existe diferencia estadística entre los productos aplicados, el factor volteo y la interacción producto con volteo por lo que no amerita que se realice una prueba de medias, ya que estadísticamente en todos los tratamientos el contenido de fosforo fue el mismo, variando entre 0.05 a 0.13%

**Cuadro 15. ANDEVA para la variable contenido de potasio en los residuos, en los diferentes en los tratamientos.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.01	16	3.60E-04	2.37	0.0142 *
Producto	7.20E-04	6	1.20E-04	0.78	0.5888 NS
Volteo	7.10E-04	1	7.10E-04	4.65	0.0373 *
Bloque	3.40E-03	3	1.10E-03	7.39	0.0005 **
Producto*Volteo	9.90E-04	6	1.60E-04	1.07	0.3974 NS
Error	0.01	39	1.50E-04		
Total	0.01	55			

En el cuadro 15, se puede observar que no existe diferencia estadística entre los tratamientos por efecto de productos aplicados, ni por la interacción producto con volteo, no así, al factor volteo en el cual si se presenta diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que amerita que se realice una prueba de medias al factor volteo ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 16. Prueba de medias del contenido de potasio en los residuos, de acuerdo al factor volteo.**

Volteo	Medias (% K)	Grupo Tukey
Sin volteo	0.05	A
Con volteo	0.04	B

La prueba de medias realizada al factor volteo para determinar su influencia en el contenido de potasio, se muestra en el cuadro 16, observándose que se obtiene beneficio en cuanto al contenido de potasio al no voltear los productos. El voltear los residuos podría estar relacionado a pérdidas en el suelo de este y otros elementos.

### 7.3. GRADO DE DESCOMPOSICIÓN

En el cuadro 17 se muestra el grado de descomposición de los residuos en los tratamientos aplicados, de acuerdo a la escala cualitativa (valores entre paréntesis) presentada en el cuadro 6.

**Cuadro 17. Grado de descomposición promedio de los residuos de acuerdo a los tratamientos.**

Degradación	Factor B: Volteo	
Factor A: Producto	Con	Sin
Bagazo	Medianamente (3)	Ligeramente (2)
Cachaza	Medianamente (3)	Ligeramente (2)
EM	Medianamente (3)	Ligeramente (2)
Lombricompost	Medianamente (3)	Ligeramente (2)
Urea 3%	Descompuesto (4)	Ligeramente (2)
Testigo	Ligeramente (2)	Ligeramente (2)
Vinaza	Descompuesto (4)	Ligeramente (2)

En el cuadro anterior se observa que el grado de descomposición de los productos está influenciado con el factor volteo, indicando que al realizar volteos durante el proceso, acelera la descomposición. Viéndolo así, en el caso de la aplicación de Urea 3% o vinaza, si no se voltea el producto ligeramente se descompone, mientras que, si se realizan volteos, el residuo ya estará descompuesto al término de 114 días. Por el contrario en el tratamiento testigo con volteo y donde los residuos no fueron volteados, la descomposición fue apenas ligera. Llevando esto a la práctica, se confirma que la labranza de los residuos después de la cosecha, sería una medida que permitiría acelerar la descomposición y con ello reducir los problemas de plagas que se esconden en los residuos cuando estos no se descomponen rápidamente.

#### **7.4. REDUCCIÓN DE PESO DE LOS RESIDUOS**

Variable muy importante donde se logra determinar cuál fue el efecto de los diferentes tratamientos en combinación de los dos factores: producto y volteo. Se puede observar que ambos factores contribuyeron a la reducción de pesos de residuos en caña de azúcar pero con un efecto independiente ya que la interacción entre ellos no fue significativa, como se aprecia en el cuadro 18.

**Cuadro 18. ANDEVA para la variable Reducción de peso de los residuos, por efecto de los tratamientos.**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1	16	0.06	6.25	<0.0001 **
Volteo	0.06	1	0.06	5.82	0.0206 *
Producto	0.57	6	0.1	9.59	<0.0001 **
Bloque	0.27	3	0.09	9.01	0.0001 **
Volteo*Producto	0.1	6	0.02	1.61	0.1701 NS
Error	0.39	39	0.01		
Total	1.38	55			

El ANDEVA realizado a los datos de reducción de peso en residuos indica que estadísticamente existe diferencia significativa por el factor volteo, altamente significativa por efecto de los productos y pero no, por la interacción de volteo y producto. Por lo que se recomienda realizar prueba de medias, para determinar que producto es el que responde mejor en base a la reducción de peso durante la evaluación de 114 días.

**Cuadro 19. Prueba de medias en el porcentaje de reducción en peso de residuos respecto al factor producto.**

Producto	Medias de reducción de peso, %	Grupo Tukey		
Urea 3%	0.74	A		
Vinaza	0.74	A		
Bagazo	0.63	A	B	
EM	0.58		B	C
Lombricompost	0.56		B	C
Testigo	0.49		B	C
Cachaza	0.47			C

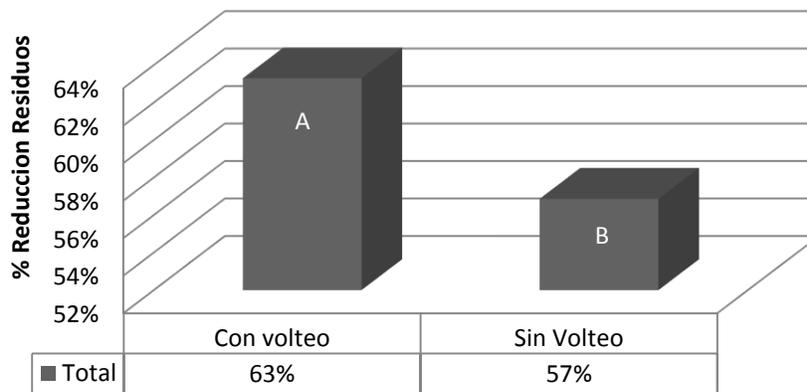
En la prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se puede observar que los mejores producto estadísticamente que ocasionan una mayor reducción de peso en residuos de caña, es utilizando Urea 3% y vinaza, lo cual obedece a la más rápida descomposición de los residuos causada por la adición de estos productos.

En tanto que los organismos efectivos y el lombricompost se comportaron como intermedios y superaron a la aplicación de extracto de cachaza.

**Cuadro 20. Prueba de medias en reducción de peso de residuos respecto al factor volteo**

Volteo	Medias %	Grupo Tukey
Con volteo	0.63	A
Sin Volteo	0.57	B

En la prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se puede observar que realizar volteos contribuye a la reducción de peso, por lo que es recomendable la realización de volteos para ayudar a acelerar la descomposición ayudando a tener mayor efecto en el grado de descomposición utilizando los distintos productos.



**Figura 3. Efecto del volteo sobre la reducción de peso de los residuos**

**7.5. PRODUCCION DE CO<sub>2</sub> DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS**

La producción de CO<sub>2</sub> está relacionada a la descomposición de la materia orgánica siendo un producto de la respiración de los organismos descomponedores. En el cuadro 21 se presentan los resultados del flujo de CO<sub>2</sub> en los tratamientos, expresado en mcg de CO<sub>2</sub>/gramo de residuo seco/hora.

**Cuadro 21. Producción de CO<sub>2</sub> de los residuos descompuestos (microgramos de CO<sub>2</sub> por gramo de residuo seco por hora).**

Residuo	Con volteo	Sin volteo
Cachaza	5.73	5.10
Bagazo	5.26	7.25
Lombricompost	5.84	6.48
Vinaza	3.78	4.34
Urea 3%	3.62	4.91
EM	4.46	4.18
Testigo	4.43	5.38

Al realizar el análisis de varianza, los resultados no mostraron diferencias significativas entre tratamientos como se muestra en el cuadro 22, no habiéndose registrado tampoco efecto de los volteos.

**Cuadro 22: Análisis de varianza para la producción de CO<sub>2</sub> de los residuos descompuestos (microgramos de CO<sub>2</sub> por gramo de residuo seco por hora).**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	55.09	13	4.24	0.80	0.6589 NS
Producto	39.64	6	6.61	1.24	0.3041 NS
Volteo	5.83	1	5.83	1.10	0.3008 NS
Producto*Volteo	9.61	6	1.60	0.30	0.9326 NS
Error	223.16	42	5.31		
Total	278.25	55			

## 7.6. COSTO DE LOS TRATAMIENTOS

Se procedió a evaluar el costo de la mejor opción en cuanto a los productos aplicados a los residuos y la realización de volteos, basado en el % de reducción del peso en los residuos, tomando esta variable como la mejor indicadora de la descomposición, para esta investigación.

**Cuadro 23. Costo por % de reducción de peso de los residuos tratados.**

Tratamiento		Unidad	Total producto/Ha	Costo /lt o costo/lb (Q)	Total de lts de melaza/ha	Costo / lt de Melaza(Q)	Costo producto (Q)/Ha	No. Volteos	Costo por volteo (Q)/Ha- Maquinaria	Costo volteo Total(Q)/Ha	Costo total(Q)/Ha	% Reducción de residuos	Costo Q/ % reducción
Extracto de Bagazo de caña	Con Volteo	Lbs	15238.86	2	380.97	3	31,620.63	10	101.28	1,012.80	32,636.43	63%	518.04
Extracto de Compost de Cachaza	Con Volteo	Lbs	15238.86	4	380.97	3	62,098.34	10	101.28	1,012.80	63,114.14	45%	1402.54
Extracto de Lombricompost	Con Volteo	Lbs	15238.86	2	380.97	3	31,620.63	10	101.28	1,012.80	32,636.43	57%	572.57
Organismos (EM)	Con Volteo	Lts	380.97	25	380.97	3	10,667.20	10	101.28	1,012.80	11,683.00	62%	188.44
Vinaza	Con Volteo	Lts	15238.86	5	0.00	0	76,194.29	10	101.28	1,012.80	77,207.09	74%	1043.34
Nitrógeno 3% Urea	Con Volteo	Lbs	3809.71	3	0.00	0	11,429.14	10	101.28	1,012.80	12,441.94	83%	149.90
Testigo (Residuo de Caña)	Con Volteo		0.00	0	0.00	0	0.00	10	101.28	1,012.80	1,012.80	59%	17.17
Extracto de Bagazo de caña	Sin Volteo	Lbs	15238.86	2	380.97	3	31,620.63	0	0.0	0.00	31,623.63	63%	501.96
Extracto de Compost de Cachaza	Sin Volteo	Lbs	15238.86	5	380.97	3	77,337.20	0	0.0	0.00	77,340.20	48%	1611.25
Extracto de Lombricompost	Sin Volteo	Lbs	15238.86	2	380.97	3	31,620.63	0	0.0	0.00	31,623.63	55%	574.98
Organismos (EM)	Sin Volteo	Lts	380.97	25	380.97	3	10,667.20	0	0.0	0.00	10,670.20	54%	197.60
Vinaza	Sin Volteo	Lts	15238.86	5	0.00	0	76,194.29	0	0.0	0.00	76,194.29	73%	1043.76
Nitrógeno 3% Urea	Sin Volteo	Lbs	3809.71	3	0.00	0	11,429.14	0	0.0	0.00	11,429.14	65%	175.83
Testigo (Residuo de Caña)	Sin Volteo		0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.0	0.00	0.00	39%	0.00

En el cuadro 23, se detalla el costo total por tratamiento, basándose en la cantidad total de producto a utilizar correspondiente a cada tratamiento, la cantidad de volteos, la adición de melaza a los tratamientos de bagazo, compost, lombricompost y microorganismos efectivos, cálculos que se realizaron en base a un área de 14m<sup>2</sup>, que corresponde al área total por tratamiento dentro del ensayo. En el mismo se detalla el valor aproximado por unidad de producto de cada tratamiento y así mismo para el costo por volteo se utilizó de referencia el costo de maquinaria de \$12.66/Ha, con un cambio de moneda de Q8.00/\$.

En el cuadro 23 se muestra los costos de los diferentes tratamientos relacionados al % de reducción de los residuos, donde el tratamiento de Urea 3%, consistente en la aplicación de urea al 3% con volteo con el costo más bajo desde punto de vista costo Q/% reducción, equivalente a Q12,441.00/ Ha con % de reducción de residuos del 83 %, y cuando no se voltea se logró una reducción del 65%, seguido del tratamiento de adición de Microorganismos efectivos con volteo que alcanzó una reducción del 62% a un costo de Q11,683.00 y cuando no se voltea los residuos se reducen un 54%.

Los tratamientos que aumentan el porcentaje de reducción de residuos con el volteo son; extracto de lombricompost, Microorganismos efectivos, Vinaza, Urea 3% y testigo sin aplicar, no así los tratamientos con extracto de bagazo de caña, extracto de compost, en estos sería mejor considerar en la realización del volteo de los mismos para disminuir el costo por aplicación de los mismos.

Otros tratamientos como los extractos de bagazo de caña y cachaza sin volteo, aunque tuvieron un costo relativamente bajo en comparación al testigo, mostraron un incremento en la disminución de los residuos sobre el suelo, indicando que la aplicación de cualquier extracto o residuo líquido, obtenido de la descomposición de los residuos tiene un efecto positivo en comparación a no aplicar nada (testigo).

## VIII. CONCLUSIONES

El grado de descomposición de los productos está influenciado con el factor volteo, indicando que al realizarlos durante el proceso, acelera la descomposición.

En el caso de la aplicación de Urea 3% o vinaza, si no se voltea el producto tiende a descomponerse más rápidamente que los demás productos ya que aquí influye mucho la volatilización del nitrógeno, por esto no se aconseja voltear los productos con Urea 3% y Vinaza mientras que si se realizan volteos en los demás residuos la descomposición se lograra a los 114 días.

En el tratamiento testigo con volteo y donde los residuos no fueron volteados, la descomposición fue apenas ligera.

El residuo que presentó mayor contenido de Nitrógeno fue donde se aplicó urea 3% para favorecer la descomposición, seguido del residuo donde se aplicó vinaza. Los menores en contenido se obtuvieron donde se aplicó extracto de cachaza y bagazo, ya que estos materiales presentan una mayor relación Carbono:Nitrógeno.

En el contenido de fosforo no existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados los contenidos varían de entre 0.05 – 0.13%. Se obtiene mayor contenido de Potasio si no se realizan volteos, el voltear los residuos podría estar relacionado a pérdidas en el suelo de este y otros elementos.

Los costos de los diferentes tratamientos relacionados al % de reducción de los residuos, donde el tratamiento de Urea 3%, es el que tiene el costo más bajo desde el punto de vista costo Q/% de reducción equivalente a Q149.90 con un costo global Q12,441.00/Ha, (83% de reducción) seguido el tratamiento de microorganismos efectivos con volteo que alcanzo una reducción del 62% a un costo de Q188.44 y un costo por Hectárea de Q11,683.00. Estos podrían ser alternativas para la reducción de residuos así mismo considérese el tratamiento de urea, debido al contenido de nutrientes que este contiene al descomponerse.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Se recomienda evaluar en campo el tratamiento a base de vinaza, ya que es un producto que es un desecho de la agroindustria azucarera, de más fácil manejo. Aunque el costo con la acción del volteo es elevado pudiera evaluarse la aplicación de este producto antes del desbasurado comercial.

Se recomienda seguir evaluando todos los productos a nivel de campo en parcelas mayores, para obtener más datos que le den sustento a esta investigación.

## X. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arancon, N.Q., C.A. Edwards, R. Dick and L. Dick. (2007). Vermicompost tea production and plant growth impacts. *Biocycle* 48(11):51-52
- Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado. E.; Trejos, J.; Segura, A. (2006) IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS EN LA CALIDAD DE LOS SUELOS (Citado el 03 de Junio del 2010) en internet: [http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis\\_infolib/2006/T2330.pdf](http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2006/T2330.pdf)
- Bates, M., (2007). Efficacy of compost tea on septoria leaf spot of tomato in field and greenhouse studies. 36 p. Thesis of Master of Science. Kansas State University, Manhattan, USA.
- Boopathy, R., T. Beary, and P.J. Templet. (2001). Microbial decomposition of post-harvest sugarcane residue. *Bioresour. Technol.* 79:29-33.
- Carrillo, L. (2003) Microorganismo. *Microbiología Agrícola* Capítulo 1. Revisado el 03 de Junio del 2010, desde internet: <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap1.pdf>
- Cordoba, C. (2009). Efecto de dos tipos de Compost y un Biofertilizante sobre poblaciones Microbianas Edáficas en un cultivo de hortalizas en Risaralda, Colombia. *Rev. Bras. De Agroecología/nov.* 2009 Vol. 4 No. 2
- Crovetto, C (1992). *Rastrojos Sobre el Suelo Una Introducción a la Cero*. Labranza. Editorial Universitaria. Chile.
- Chandler, C. Ferrer, J. Mármol, Z. Páez, G. Ramones, E. y Perozo, R. (2008). EFECTO DE LA AIREACION EN EL COMPOSTAJE DEL BAGACILLO DE LA CAÑA DE AZUCAR, revisado el 19 de Junio del 2010, desde internet: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/904/90480103.pdf>
- D'Angelo, Y. González, M. Rubalcaba, S. (2004) Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Revisado el 17 de Junio del 2010, desde Internet: [http://www.medioambiente.cu/revistama/7\\_01.asp](http://www.medioambiente.cu/revistama/7_01.asp)

Del Pilar, M. (2000). Estudio sobre la preparación del compost estático y su Calidad.

Revisado del 18 de abril del 2010, desde Internet:

<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/tesis/index/assoc/HASH0144.dir/doc.pdf>

Dos Santos, J. Díaz, A. Vázquez, V. Gonzales, J. Ledesma, C. (2009). Uso de Abonos Verdes.

Revisado el 29 de marzo del 2010, desde Internet:

<http://www.mailxmail.com/curso-uso-abonos-verdes>

Edwards, C.A., N.Q. Arancon, E. Emerson and R. Pulliam. (2007). Suppressing plant parasitic nematodes and arthropod pest with vermicompost teas. *Biocycle* 48(12):38-39

Eraso, J. (2009). Aplicación de microorganismos promotores de la descomposición de los residuos de cosecha y promotores del crecimiento vegetal en caña de azúcar.

Revisado el 28 de marzo del 2010, desde Internet:

[http://www.controlbiologico.com/propuesta\\_cana.htm](http://www.controlbiologico.com/propuesta_cana.htm)

Ferreira, S. E; Montenegro, O. A. (1987). Efeitos da aplicacao da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. *Boletín Técnico COPERSUCAR (Brasil)* v.36, p.1-7.

Gómez, F. (1983). *Caña De Azúcar*. Edicanpa SRL,. Caracas, Venezuela.

Gómez, L. (1998). *Insectos y Caña Verde*. Carta Trimestral 1998, n.-4. Cenicaña, Colombia.

Gómez, S. Flores, J. Correa, C. y Molina, R. (2009) Influencia de la aplicación de Vinaza en actividad y biomasa microbiana en un Entic Dystropept y un Fluventic haplustoll del valle del Cauca, Colombia, revisado el 19 de Junio del 2010. Desde internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n1/v58n1a07.pdf>

González Valdés, R. (1986). *Explotación del Parque de Maquinas - ISAAC: Pueblo y Educación*.

Gutiérrez. R. F. (1990). "Explotación del parque de tractores y máquina". Editorial Pueblo y Educación. La Habana.

- Higa, T. (2008). Effective Microorganims oficial de la tecnología EM en América Latina. Revisado el 28 de Marzo del 2010, desde Internet:  
[http://www.em-la.com/uso\\_de\\_em.php?idioma=1](http://www.em-la.com/uso_de_em.php?idioma=1)
- Higa, T. y Parr, J. (2009). MICROORGANISMOS BENEFICOS Y EFECTIVOS PARA UNA AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE SOSTENIBLE  
Revisado el 03 de Junio del 2010, desde Internet:  
[http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG\\_Benef\\_Efect.pdf](http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG_Benef_Efect.pdf)
- Ingham, E. (2003). The compost Tea brewing Manual, 88 p, 4th. ed, Soil Foodweb Incorporated, Oregon, USA
- Larco, E. (2004). DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LIXIVIADOS DE COMPOST Y LOMBRICOMPOST PARA EL MANEJO DE SIGATOKA NEGRA (Mycosphaerella fijiensis Morelet) EN PLÁTANO  
Revisado el 18 de Abril del 2010 desde Internet:  
[http://musalit.inibap.org/pdf/IN070510\\_es.pdf](http://musalit.inibap.org/pdf/IN070510_es.pdf)
- Osorio, V. (2004) Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis Magister Scientiae, CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA PROGRAMA DE EDUCACION PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION ESCUELA DE POSGRADO, P 89: 19-20. Revisado el 19 de Junio del 2010, desde internet:  
<http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0280E/A0280E.PDF>
- Quintero, R.; Cadena, S.; y Briceño, C. (2006). PROYECTOS SOBRE INVESTIGACION SOBRE USO Y MANEJO DE VINAZAS. Revisado el 03 de Junio del 2010, 11p. en internet:  
<http://www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Etanol/Presentaciones/Proyecto sInvestigacionSobreUsoManejo%20Vinaza.pdf>
- Rosales, L. (2009). EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES, PARA LA BIODEGRADACIÓN EN AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ (Coffea arabiga L.), EN COBÁN, ALTA VERAPAZ. Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, P 107:12-15

RIPOLI, T. (2000). Energy Potencial of Sugar Cane Biomasa in Brazil. Scientia Agrícola Vol. 56, n.-4, Piracicaba, Brasil.

SANOMIYA, L.; ASSIS, L.; DE OLIVEIRA, J. y NAHAS, E. (2006) Mineralización de la Paja de Caña de Azúcar en Suelo Adicionado con Viñaza (Suproducto de la Industria del Alcohol de Caña de Azúcar) y Fertilizante Nitrogenado. Agric. Téc. [online]. 2006, vol.66, n.1 [citado 30-01-2010], pp. 90-97.  
Disponible en:  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072006000100010](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072006000100010) .

TORRES, J. (1997). Desarrollos Tecnológicos en la Caña Verde. Cenicaña 1997 Carta Trimestral1997, n.-3. Cenicaña, Colombia.