

**APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PANELERA
EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO MICROORGANISMOS
EFICIENTES (EM)**

SANDRA PATRICIA CORTÉS NÚÑEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE ING. AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

**APROVECHAMIENTO DE SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PANELERA
EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO MICROORGANISMOS
EFICIENTES (ME)**

SANDRA PATRICIA CORTÉS NÚÑEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTORA
CLAUDIA SANTOYO MUÑOZ
Esp. Microbiología Ambiental**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE ING. AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 29 de Abril de 2008

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Martha Cecilia Núñez y Elder Jorge Cortés, por el apoyo incondicional, comprensión y cariño que me han brindado a lo largo de todo este camino de vida.

A Dios por llenar mi vida de alegrías y bendiciones.

A Maria Natalia Chaparro por su apoyo en los primeros procesos de elaboración de esta tesis.

A mi Directora de tesis, Claudia Santoyo, por su calidez, sugerencia y confianza.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 PRODUCCIÓN PANELERA EN COLOMBIA	15
2.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN	15
2.2.1 Etapas del proceso productivo.	16
2.2.2 Beneficios de la Caña Panelera.	19
2.2.3 Cachaza: subproducto de interés.	21
2.2.4 Bagazo: subproducto de interés.	25
2.3 COMPOSTAJE	27
2.3.1 Definición y proceso de compostaje	27
2.3.2 Organismos asociados al compostaje.	28
2.3.3 Técnicas de compostaje.	29

2.3.4 Factores físicos y químicos que afectan el proceso.	30
2.4 MICROORGANISMOS EFICIENTES	33
2.4.1 Definición de microorganismos eficientes	33
2.4.2 Tipo de microorganismos.	34
2.4.3 Características Técnicas Generales de los EM.....	35
2.4.4 Modo de acción.	35
2.4.5 Aplicación de los EM en la agricultura.....	36
2.4.6 Aplicación de los EM en el manejo de desechos animales.	36
2.4.7 Aplicación de EM en el medio ambiente.....	36
3. METODOLOGIA.....	37
3.1. DIAGRAMA DEL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	38
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	39
3.2.1. Determinación de la proporción óptima de mezcla de los subproductos a utilizar. (Cachaza- Bagazo).	39
3.2.2. Determinación de los parámetros físicos-químicos	40
3.2.3 Construcción de las pilas de compost.	40
3.3.1 Elaboración de la mezcla de los subproductos que conforman el compostaje.....	41
3.2.4. Aplicación del inóculo.....	43
3.2.5. Monitoreo de las pilas.....	44
3.2.4. Aplicación del compost en el cultivo de caña panelera.	46
4. DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
4.1 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA DE MEZCLA DE LOS SUBPRODUCTOS A UTILIZAR (CACHAZA- BAGAZO).....	51

4.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS	51
4.3 CONSTRUCCIÓN DEL ÁREA DE COMPOST	55
4.3.1 Elaboración de la mezcla de compostaje	59
4.4 MONITOREO DE LAS PILAS	62
4.5 APLICACIÓN DE COMPOST AL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	66
5. CONCLUSIONES	68
8. RECOMENDACIONES.....	69
7. ANEXOS.....	71
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80

TABLAS.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de la cachaza como fertilizante.....	23
Tabla 2. Factores controlados en el proceso de compostaje.....	33
Tabla 3. Proporciones Cachaza/Bagazo.....	39
Tabla 4. Métodos aplicados para la determinación de parámetros fisicoquímicos.	46
Tabla 5. Parámetros a evaluar dentro del cultivo de caña.	50
Tabla 6. Resultados obtenidos de Carbono Total y Nitrógeno Total.....	52
Tabla 7. Contenido de Nitrógeno de algunos materiales.	53
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del compost obtenido.	60
Tabla 9. Comparación del compost obtenido con otros.....	62
Tabla 10 pH obtenido en las pilas de compost.....	66
Tabla 11. Parámetros evaluados durante la aplicación del compost.....	66
Tabla 12. Temperaturas obtenidas durante el compostaje.	78

FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de producción panelera	19
Figura 2. Esquema del proceso de compostaje	27
Figura 3. Diagrama de la metodología	38
Figura 4. Estiércol de vaca	41
Figura 5. Bagazo de caña de azúcar	42
Figura 6. Cachaza.....	43
Figura 7. Nutrimientos EM	44
Figura 8. Termómetro Láser	45
Figura 9. Parcelas para evaluar el compost.....	47
Figura 10. Parámetros a evaluar sobre el cultivo de caña	48
Figura 11. Longitud de la planta.....	48
Figura 12. Grosor de Tallo	49
Figura 13. Aplicación del compost	50
Figura 14. Dimensiones de la pila (exterior)	56

Figura 15. Dimensiones de la pila (Interior)	56
Figura 16. Sistema de aireación inferior.	57
Figura 17. Sistema de aireación superior.	58
Figura 18. Mezcla de los sustratos	59
Figura 19. Temperaturas obtenidas (diario).....	63
Figura 20. Humedad obtenida en las pilas.....	65

ANEXOS

Anexo A: Dimensiones del área de compost.....	71
Anexo B: Folleto de nutrimentos EM.....	73
Anexo C: Análisis Carbono Total.....	75
Anexo D: Análisis bromatológico del compost obtenido.....	77
Anexo E: Tabla de toma de datos de temperatura.....	78

RESUMEN

Gracias al alto potencial de suelos agrícolas que posee Colombia, la agricultura se constituye como una actividad de suma importancia en la economía nacional. Por tal motivo, el país se caracteriza por la obtención de una gran variedad de productos, entre ellos la producción de panela, la cual ocupa el segundo lugar a nivel mundial y representa aportes significativos en la economía nacional, además de constituir el ingreso económico de muchas familias en diversas regiones del territorio nacional. El municipio de Vélez, es uno de los municipios dedicados a esta actividad, cuya producción se ve afectada por la escasez de mano de obra, las dificultades para acceder a crédito de inversión, los altos precios de los insumos requeridos, la falta de tecnificación de los procesos de cultivos, el agotamiento en la fertilidad de suelos y principalmente la falta de aprovechamiento de los subproductos de la caña de azúcar, debido al desconocimiento de tecnologías para optimizar su valorización. El presente trabajo tiene como objetivo elaborar un compost mediante el aprovechamiento de los subproductos de la industria panelera, aplicando Microorganismos Eficientes. Este compost se producirá con el fin de obtener beneficios sobre los suelos por medio de su aplicación generando así una alternativa para la disposición y manejo de los subproductos de la industria panelera que normalmente constituyen una problemática permanente para los agricultores de Vélez.

ABSTRACT

Thanks to the high potential in agricultural soils that possesses Colombia, the agriculture is constituted as an activity of supreme importance in the national economy. For such a motive, the country is characterized by the obtaining of a great variety of products, among them, the production of panela, which occupies the second place worldwide and represents significant contributions in the national economy, besides of constituting the economic revenue of many families in diverse regions of the national territory. Vélez is one of the municipalities dedicated to this activity, which production is seen affected by the manpower shortage, the difficulties to accede to investment credits, the high prices of the needed inputs, the lack of modernization of the processes of cultivation, the depletion in the fertility of soils and principally the lack of utilization of the subproducts of the sugar cane, due to the ignorance of technologies to optimize its appraisalment. The present work it's about the elaboration of compost by means of the utilization of the subproducts of the panelera industry, applying Efficient Microorganisms. This compost will be produced in order to obtain benefits on the soils by means of its application, generating this way an alternative for the disposition and managing of the subproducts of the panelera industry, that normally constitute a permanent problematic for the farmers of Vélez.

INTRODUCCIÓN

Debido al alto potencial de suelos agrícolas que posee Colombia, la agricultura se constituye como una actividad de suma importancia en la economía nacional; este potencial es atribuido al relieve, a la geografía del país y a de diversos factores entre los cuales se encuentra el clima, la disponibilidad de agua, la demanda de alimentos y la tecnología disponible. Por tal motivo, el país se caracteriza por la obtención de una gran variedad de productos, entre ellos la producción de panela, la cual ocupa el segundo lugar a nivel mundial y representa aportes significativos en la economía nacional, además de constituir el ingreso económico de muchas familias en diversas regiones del territorio nacional.

En el departamento de Santander, uno de los municipios dedicados a esta actividad, es el municipio de Vélez, cuya producción se ve afectada por la escasez de mano de obra, las dificultades para acceder a crédito de inversión, los altos precios de los insumos requeridos, la falta de tecnificación de los procesos de cultivos, el agotamiento en la fertilidad de suelos y principalmente la falta de aprovechamiento de los subproductos de la caña de azúcar, debido al desconocimiento de tecnologías para optimizar su valorización.

Dentro de la producción panelera nacional se manejan alrededor de 1.767.114 de toneladas de caña, de las cuales el 78.4% esta representado en los tallos de la caña, el 14.8% corresponde a las hojas, el 6.8% a el cogollo y un 4% en cachaza.

Según estas cifras hoy en día se están dejando de aprovechar un 25.6% de residuos reutilizables, los cuales están generando una gran cantidad de dificultades a los productores paneleros debido a su alto volumen de residuo y a la incapacidad de almacenamiento por parte de los trapiches, generando como

consecuencia la contaminación de nacimientos de agua debido al vertimiento de estos sobre las caños de aguas lluvias, como es el caso de la cachaza.

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar un compost mediante el aprovechamiento de los subproductos de la industria panelera, aplicando Microorganismos Eficientes, de tal manera que con la combinación de dichas practicas, se logre acelerar el proceso de degradación y producir un abono de alta calidad.

Este compost se producirá con el fin de obtener beneficios sobre los suelos por medio de su aplicación generando así una alternativa para la disposición y manejo de los subproductos de la industria panelera que normalmente constituyen una problemática permanente para los agricultores de Vélez.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar compost a escala piloto, utilizando los subproductos generados en la industria panelera (cachaza y bagazo) con microorganismos eficientes (ME).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones óptimas de la mezcla bagazo y cachaza, teniendo en cuenta sus características fisicoquímicas, como son la relación C/N, temperatura y pH.
- Controlar el proceso de descomposición de la materia orgánica midiendo parámetros como pH, temperatura y humedad.
- Determinar las características fisicoquímicas del compost obtenido.
- Evaluar el compost obtenido mediante el desarrollo y crecimiento de *Saccharum officinarum*, monitoreando el crecimiento del tallo, grosor de tallo y número de plantas por surco.

2. MARCO TEÓRICO

Durante las diversas actividades realizadas ya sean de tipo agrícola, industrial, doméstico, etc., son obtenidos grandes volúmenes de residuos, cuyo manejo actualmente constituye una de las problemáticas fundamentales para el hombre, ya que debido a la relación entre la población y la generación de residuos, su producción aumenta constantemente y por ende el problema empeora respecto al tiempo.

Como residuo sólido, se considera todo material, objeto, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades ya sean domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que puede ser aprovechado o transformado en un nuevo bien con un valor económico o de disposición final.

Dentro de la industria panelera se puede denominar como residuo, aquellos materiales que quedan en todo el proceso de producción, desde el cultivo hasta empacamiento de la panela, siendo estos residuos como los tallos de la caña, las hojas, el cogollo y la cachaza, los cuales no se les dan un uso fuera o dentro del mismo proceso productivo.¹

De tal manera que es importante tomar medidas para el manejo de los residuos y así disminuir la problemática que estos pueden causar; una de las opciones más utilizadas tanto a nivel nacional como internacional es la tecnología del compostaje.

¹ RIVEROS MAURICIO ANGEL, Aprovechamiento de los subproductos de la caña de panelera en la producción animal. Convenio 000152, 2002. SENA – FEDEPANELA.

2.1 PRODUCCIÓN PANELERA EN COLOMBIA

La producción de panela, constituye una de las principales actividades agropecuarias de Colombia, siendo el sustento de muchas familias: ubicándose en el quinto lugar entre los cultivos del país, superada por el café, maíz, arroz y plátano. Colombia, es uno de los 30 países productores de panela en el mundo, ocupando el segundo lugar después de la India, con un volumen que representa del 9.2% de la producción mundial según la FAO (1999); en el país se estima que el 61% del área cultivada corresponde su producción, el 32% a la producción de azúcar y 7% a mieles, guarapos y forrajes. Sin embargo, según el consumo per capital el país ocupa el primer lugar con un consumo de 31Kg de panela por habitante al año, lo cual afirma su importancia en la canasta familiar.²

Las regiones con mayor producción panelera, se concentran básicamente en Boyacá, Santander, Cundinamarca, Antioquia, Huila, Nariño y Caldas. Siendo Santander y Boyacá las regiones con los mayores alcances de producción panelera, con valores de 358.100 Tn /año y 260.778 Tn/ año respectivamente, de acuerdo a datos suministrados por el Ministerio de Agricultura Rural en el 2004.

2.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN

La producción de panela es un proceso de transformación física continua, que utiliza como materia prima la caña de azúcar. El desarrollo del proceso inicia con el apronte de la caña de azúcar, donde se recolecta la caña cortada en los lotes de siembra. A continuación, se realiza la extracción de jugos o molienda, donde es

² Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas, Colombia. Documento de trabajo N° 103. L cadena agroindustrial de la panela en Colombia, Bogota, enero 2006. Disponible en : <http://www.agrocadenas.gov.co>

comprimida por los rodillos, obteniendo así el jugo de los tallos; allí se producen dos subproductos, el jugo (que continua hasta convertirse en panela) y el bagazo, el cual es llevado a la bagacera, donde es almacenado con el fin de disminuir la humedad. Obtenido el jugo de caña se lleva a cabo su limpieza, retirando las partículas sólidas suspendidas en el jugo y se produce como subproducto la cachaza. Posteriormente, se realiza la evaporación y concentración, donde se elimina la mayor cantidad de agua presente en el jugo formando la miel, para luego hacer su punteo, pasarla a unas bandejas metálicas o de madera, para el bateo y finalmente realizar su moldeo.³

2.2.1 Etapas del proceso productivo. El cultivo de caña de azúcar en su aspecto productivo, esto es, azúcar, panela, mieles y alimentación animal, esta determinado por la marcada diferenciación de los contextos socioeconómicos regionales en la que se desarrolla la producción panelera que, en su mayor parte, revela índices de baja productividad altos costos de producción y utilización de tecnologías agrícolas e industriales rudimentarias. A continuación se describen algunas de las prácticas apropiadas para obtención de altos rendimientos antes de la elaboración de la panela:

- **Preparación del terreno.** Inicialmente se realiza el desmonte, el cual consiste en cortar con machete la arboleda y el rastrojo que invade el terreno durante su descanso. La duración de esta actividad depende directamente del descanso del terreno.

Es necesario, realizar la remoción de la tierra, la cual consiste en trabajar el suelo con el azadón o el arado con el fin de modificar su estructura física, permitiendo su

³ FONSECA ACOSTA SAUL ADUAR, guía ambiental para el sector panelero. 2002 disponible en: http://www.ideam.gov.co/apcaa/img_upload/ccf8a2325cc9292dc1cf8549cc72e8d8/Guia_Ambiental_Panelera.pdf.

aireación y el intercambio de elementos químicos, facilitando la germinación, el crecimiento de vástagos, flores o espigas que nacen de un mismo pie y el desarrollo de las raíces en un medio menos compacto.

- **Siembra.** Generalmente, la siembra debe realizarse al inicio de las lluvias, fundamentalmente si no se dispone de riego o el terreno no permite instalar sistemas de riego funcionales. Para la siembra de caña de panelera, es recomendado utilizar el sistema de siembra a chorrillo, donde la semilla se coloca acostada en el fondo del surco y de acuerdo a su calidad, se siembra empleando el sistema de chorrillo sencillo, chorro medio o chorro doble; los dos primeros para calidad de semilla muy buena y el doble para cuando la semilla no proviene de semilleros o es de mala calidad. La razón por la cual se recomienda este sistema es por los rendimientos que genera debido a la mayor densidad de brotes.

- **Fertilización.** Su objetivo es suministrar los nutrientes necesarios para el adecuado crecimiento y desarrollo de la caña. El cultivo de caña es una actividad que anualmente remueve grandes cantidades de elementos nutritivos del suelo, por lo cual deben ser devueltos al suelo con este mecanismo. Generalmente, tras el cultivo se presentan deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio.

- **Control de Malezas.** Esta actividad, consta de los procedimientos que se deben seguir para que el cultivo se desarrolle libre de plantas que puedan competir por nutrientes en una etapa determinada del crecimiento de la caña. Este control puede ser realizado por el mismo cultivo, debido a la capacidad que tiene de competir por agua, luz y nutrientes, el cual es conocido como control cultural también puede realizarse por control manual o control químico.

- **El deshoje.** Esta operación consiste en quitar las hojas secas de la caña que pierden su función fisiológica, pero que permaneces adheridas al tallo de la caña, con ella se facilita también el trabajo de labranza, además con esas hojas secas

puede causarse un brote de raíces que impide el óptimo crecimiento del tallo, o albergar insectos perjudiciales para el cultivo. Finalmente, su principal función es acelerar la maduración, al remover hojas bajas, lo cual detiene el crecimiento y propicia la maduración.

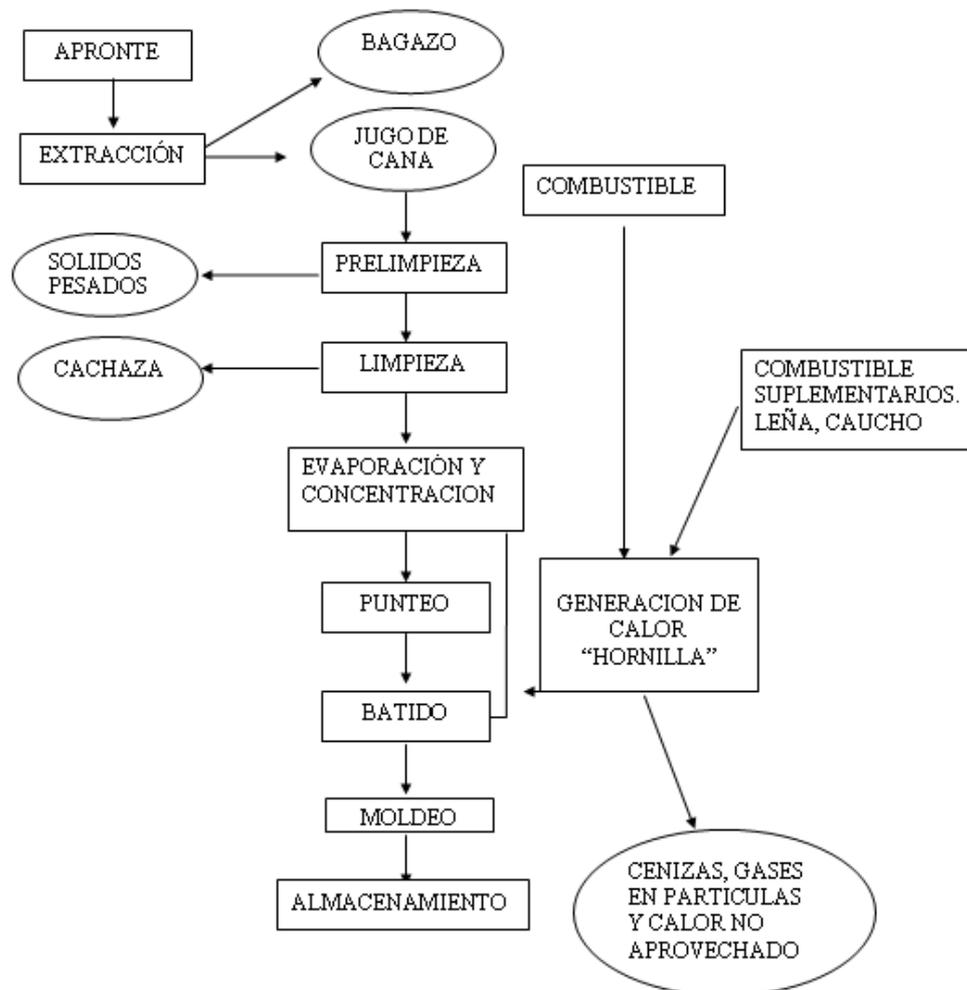
- **Control de la maduración.** Es realizado para valorar la cantidad de sacarosa presente en el jugo de la caña para obtener el mayor rendimiento en un periodo vegetativo adecuado. Ese estado es alcanzado cuando los tallos detienen la velocidad de crecimiento al final del periodo vegetativo. Durante esta época, las oscilaciones de temperatura, la sequía moderada, la edad y la necesidad de nitrógeno son factores que determinan la maduración de la planta. La edad está influida por la altura sobre el nivel del mar y por la temperatura, pues al aumentar la edad, la temperatura disminuye, alargándose, por tanto, el periodo vegetativo. Mientras que al disminuir la altura, la temperatura se eleva y el periodo vegetativo se reduce. De igual forma estos factores influyen en la concentración de sacarosa, a baja altura, la concentración es menor, la cual va aumentando con la altura hasta llegar a un máximo teórico de sacarosa que es del 26%.

- **La cosecha.** Consiste en el corte de la caña para ser procesadas en el trapiche, en el cual se utilizan dos sistemas de corte: por entresaque y corte por parejo. El corte por entresaque consiste en recolectar las cañas maduras quedando en el campo las inmaduras para su posterior recolección. La frecuencia de este tipo de corte depende de la capacidad de la planta para producir nuevos tallos, este corte es el más utilizado por los pequeños productores. El corte por parejo se utiliza en los cultivos tecnificados, en los cuales debido al crecimiento uniforme de los tallos, estos maduran a la misma edad. Para ambos sistemas el corte debe hacerse a ras de la tierra, ya que un mal corte disminuye la vida de las socas.⁴

⁴ Acosta Fonseca Edgard, Mayorga Carlos Fernando, Asesores FEDEPANELA. Guía para la producción de panela de buena calidad. Disponible en <http://www.fedepanela.org.co/Cartilla%20procesos.pdf>

2.2.2 Beneficios de la Caña Panelera. Se refiere al conjunto de operaciones tecnológicas posteriores al corte de la caña, es decir: apronte, molienda, limpieza, clarificación, y encalado, evaporación del agua y concentración de las mieles, punteo y batido, moldeo, enfriamiento, empaque y embalaje. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las operaciones, las cuales se pueden observar en la figura 1, visualizando las entradas y las salidas de cada una de ellas.

Figura 1. Diagrama del proceso de producción panelera



Fuente. El autor

- **Apronte.** Se refiere a las acciones de recolección de la caña cortada, su transporte desde el sitio de cultivo hasta el trapiche y su almacenamiento en el depósito, previo a la extracción de los jugos en el molino. La caña debe permanecer el menor tiempo posible en el sitio de almacenamiento, puesto que el sol deshidrata el tallo y acelera el desdoblamiento de la sacarosa, aumentando así la concentración de azúcares invertidos en los jugos del tallo, disminuyendo los rendimientos de producción y calidad de la panela.
- **Extracción de Jugos o Molienda.** En esta etapa la caña es sometida a compresión en los rodillos o mazas del molino. Los productos finales son el jugo crudo y el bagazo; el primero es la materia prima que se destina a la producción de panela, mientras el segundo, se le pretende dar un aprovechamiento a este residuo con la elaboración de compost o se emplea como material combustible para la hornilla una vez secado.
- **Limpieza de los jugos.** En esta operación se realiza la remoción de las impurezas gruesas y de carácter no nutricional que se pueden separar de los jugos por medios físicos, tales como: decantación y flotación, así como por medios térmicos y bioquímicos que buscan obtener un producto de óptima calidad. Consta de las operaciones de prelimpieza, clarificación y encalado.
- **Evaporación y Concentración.** Durante este proceso se realiza la mayor remoción de agua presente en el jugo, de tal manera que los sólidos se concentran hasta alcanzar su estado de miel. Al comenzar la molienda se prende la hornilla; dejando calentadores, fondos y pailas llenos de agua para evitar que se sobrecalienten, dicha agua es reducida con la primera bajada del jugo. Al salir del molino, los jugos esperan generalmente en un pozo, tras ser filtrado pasa a los calentadores, en donde se agrega el balso o cadillo, luego por el efecto del calor y el aglutinante se forma la cachaza.

- **Punteo y Batido.** En esta fase, se logra la mayor concentración de los sólidos, buscando la obtención del punto. En esta etapa mediante paleo manual se incorpora aire a las mieles en presencia de calor, operación que se lleva a cabo en la paila punteadora. Posteriormente, el templador saca el temple a un recipiente de madera o metal, para batirlo con un remo de madera.

- **Moldeo de la Panela.** Con la ayuda de moldes, tales como: los cocos o gavetas para dar forma a la miel. Este proceso, inicia cuando la templadora estima que se ha batido lo suficiente, luego la masa es pasada por un tallado en madera y de ahí se vierte sobre las gaveras, de la mesa de hacer panela, donde se extiende de manera uniforme por medio de un par de “chajiros” o “machetes” de madera. Por último, las panelas se dejan enfriar y se empacan.

- **Empaque y almacenamiento.** La panela es un producto con cualidades higroscópicas, es decir, que absorbe o pierde humedad por su exposición al ambiente; dependiendo de las condiciones climáticas del medio y de la composición del producto. A medida que aumenta su absorción de humedad, la panela se ablanda, cambia de color, aumenta los azúcares reductores, disminuye la sacarosa; propiciando la proliferación de microorganismos.⁵

2.2.3 Cachaza: subproducto de interés. La cachaza es un subproducto de la fabricación de la panela que resulta de la limpieza del jugo por medio de la utilización de plantas como el cadillo balso blanco o guasito; estas plantas hacen que sobre la superficie del jugo se forme una capa de naturaleza coloidal, la cachaza.

⁵ Fondo nacional de la panela (fedepanela). Proceso de elaboración de la panela. Disponible en: http://www.fedepanela.org.co/elaboracion_proceso.htm

La cachaza, constituye un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua, generalmente es rica en fósforo, calcio potasio y pobre en nitrógeno. Constituye una fuente importante de magnesio y zinc. El Fósforo que contiene es rápidamente disponible y produce un mejor efecto en suelos pobres. Pero por presentar un olor desagradable, baja densidad, alto porcentaje de humedad, constituye una fuente de criadero de moscas y otros insectos.

Su alta relación carbono/nitrógeno (mayor a 20:1), provoca la inmovilización del nitrógeno nativo y el aplicado como fertilizante en el suelo, por parte de los microorganismos heterotróficos.⁶

En general la cachaza contiene: 40% de Materia Orgánica; 1,76% de Nitrógeno; 3% de P₂O₅; 0.42% de K₂O; 3.15% de CaO; 1.07% de MgO; 36.7% de CaO, pero estos porcentajes y su composición varían con las características agroecológicas de la zona, con la técnica de cultivo, el método de clarificación de jugos, entre otros factores.

En algunos países tales como Venezuela, Brasil, Cuba, la India y Colombia, la cachaza es utilizada como fertilizante, en la mejora de algunas propiedades físicas del suelo, en ocasiones se emplea en estado fresco, aplicándola directamente sobre el cultivo y en otras la combinan con otras prácticas como el compostaje.

La tabla 1 muestra algunas de las ventajas y desventajas que representa el uso de la cachaza como fertilizante para el cultivo de caña de azúcar, utilizando la cachaza fresca.

⁶ Zerega M., Luis. MANEJO Y USO AGRONÓMICO DE LA CACHAZA EN SUELOS CAÑAMELEROS. Vol. 11 N° 2, CAÑA DE AZÚCAR, 1993. Venezuela. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/cana/cana1102/texto/manejo.htm>

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso de la cachaza como fertilizante.

VENTAJAS.	DESVENTAJAS.
Restaura el nivel de materia orgánica de los suelos, aumentando la capacidad de uso.	Su costo de transporte es superior a sus beneficios de aplicación.
Representa un ahorro económico en cuanto a la utilización de fertilizantes químicos.	No existen registros de aplicación de la cachaza dentro del cultivo de caña que permitan compara su rendimiento.
Aumenta la población microbiana, permitiendo así una mejor absorción de los nutrientes.	Por su alto contenido de materia orgánica es necesario añadir urea para su rápida descomposición.
Es un material rico en Potasio, Fósforo y Calcio, nutrientes fundamentales para el buen desarrollo del cultivo.	La elaboración de cachaceras de transferencia para compensar la alta producción de cachaza, genera doble manipulación y costos.
Como cachaza compostada ayuda al mejoramiento de lagunas propiedades físicas del suelo, tales como la infiltración, retención y distribución de humedad en el perfil del suelo.	La dosis de aplicación es limitada, lo cual hace que no exista relación entre oferta y demanda.
La cachaza compostada aumenta la disponibilidad de nitrógeno antes de su aplicación y además produce metano (biogás), el cual puede ser utilizado como combustible para la producción panelera.	La aplicación de altas dosis de cachaza sobre el cultivo, hace que este material sea arrastrado hacia partes muy bajas del terreno por el riego o lluvias

Fuente: El autor.

Uno de los proyectos realizados sobre la cachaza dentro de la práctica de compostaje, se realizó en la provincia de Tucumán, en el departamento de Monteros (Argentina), donde se tenía como objetivo producir, evaluar y aplicar un fertilizante alternativo para la caña de azúcar, en áreas de superficie reducidas, utilizando como sustrato la cachaza para la cría de lombriz californiana. Para lo cual, se utilizaron diferentes combinaciones de lombricompuesto, mezclado con urea y un patrón. Estas combinaciones fueron aplicadas sobre lotes de soca de caña, donde se observó el crecimiento en números de tallos por mata, peso promedio del tallo y rendimiento sacarino, con el fin de evaluar la calidad del producto elaborado.

Finalmente se concluyó que el lombricompuesto, puede ser aprovechado como fertilizante orgánico en todas las producciones agrícolas complementarias a la caña de azúcar en los sistemas productivos de pequeños productores, como recurso para el autoconsumo y la comercialización de excedentes.⁷

Otro de los estudios realizados fue en Cuba, se evaluó la implementación de la cachaza como sustrato para la producción de plantas *Eucalyptus grandis*. Para ello, se ideó a escala piloto un experimento compuesto por tres tratamientos y cuatro replicas de cada uno, en donde como componentes orgánicos se utilizaron en diferentes combinaciones la cachaza, gallinaza, cáscara de arroz y el estiércol de murciélago. Para conocer la combinación que presentaba mejor comportamiento respecto a los parámetros morfológicos y fisiológicos, y de tal forma determinar la dinámica de crecimiento, se llevaron a cabo diferentes análisis estadísticos, utilizando un modelo matemático cuántico.

⁷ ROBERTO FERNANDEZ DE VILLAMIZAR. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Secretaria de Agricultura, Ganadera, Pesca, Alimentación.

De esta manera, se obtuvo que para el sustrato compuesto por 90% de cachaza y 10% de gallinaza se obtuvo un mejor comportamiento, y de esta manera que es posible el aprovechamiento de los residuos de la industria azucarera.⁸

A nivel nacional, Colombia a través de BIOTEC desarrolló entre el año 1993 y 1994, un estudio sobre el proyecto de compostaje con los residuos de cachaza en el ingenio. De esta forma, se diseñó una planta de compostaje, utilizando como sustrato la cachaza la cual representaba el 90% de la mezcla, cuando se utilizó compost maduro para la mezcla. El proyecto se desarrolló en pilas o montones a cielo abierto, en pisos de balastro, con aireación por volteo mecánico, en una extensión de aproximadamente 7 hectáreas; sistema de aplicación sobre el cultivo con descargue directo de las volquetas. De tal manera, que con una duración del proceso de dos meses y medio, se obtiene una producción de 41.328T/año (= 53.600m³) de compost.

Finalmente, se cumplieron las expectativas en cuanto a su desarrollo, ya que constituyó un proyecto rentable, con la capacidad de restaurar el nivel de materia orgánica de los suelos, por lo menos sobre la tercera parte de la superficie de caña del ingenio y fundamentalmente resultó ser una alternativa real para solucionar el problema ambiental de la disposición la cachaza.⁹

2.2.4 Bagazo: subproducto de interés. El bagazo constituye otro de los subproductos producidos en gran cantidad durante la producción de panela, es resultante de la extracción del jugo azucarado, o la paja (hojas y puntas),

⁸ ACOSTA RAMIREZ. D. MEDINA, La cachaza como sustrato para la producción de plantas de *Eucalyptus grandis* en vivero de tubotes. Cuba 2005. Disponible en: [www. Dama.gov.co](http://www.Dama.gov.co)

⁹ Philippe Conil, BIOTEC, manejo de cachaza, estudio de caso de un aprovechamiento azucarero en Colombia, julio 1994. Disponible en: <http://www.bio-tec.net/publicaciones/cachaza.doc>

adicionalmente existen varios usos que pueden dársele y están actualmente siendo puestos a prueba, tales como combustible, papel y alimento animal.¹⁰

Este subproducto constituye un material fibroso, que presenta una ventaja y es que su recolección está garantizada por la industria azucarera. Su problema principalmente radica en que al ser el bagazo un residuo voluminoso y de alto contenido de humedad, lo cual limita su uso inmediato como combustible. Por lo tanto, es necesario disponer de un espacio para su almacenamiento.

El bagazo fresco presenta alrededor de un 50% de humedad, un 2-3% de azúcar residual y cerca de un 50% de fibra. La médula constituye el 35% del volumen seco de la fibra de bagazo, esta es químicamente semejante a la celulosa, pero debe ser eliminada.¹¹

De acuerdo a datos de producción mundial de azúcar de caña, es decir, mayor a unos 50 millones de toneladas/año y asumiendo que, por cada tonelada de azúcar, se producen 1,15 toneladas de bagazo seco, se estima que su producción alcanzó un total de 57,5 millones de toneladas/año.¹²

¹⁰ PEGAZUS FOODS – PEFOODS. La panela: un producto vital. Disponible en: <http://www.quassab.com/Es/LaPanela/Default.asp>

¹¹ Rafael Suárez Rivacoba¹ (Ministerio del Azúcar-MINAZ) y Rafael B. Morín (Oficina Nacional de Normalización-ONN). Caña de azúcar y sostenibilidad: Enfoques y experiencias cubanas. Disponible en: http://www.laneta.apc.org/desal/spip/article.php3?id_article=26

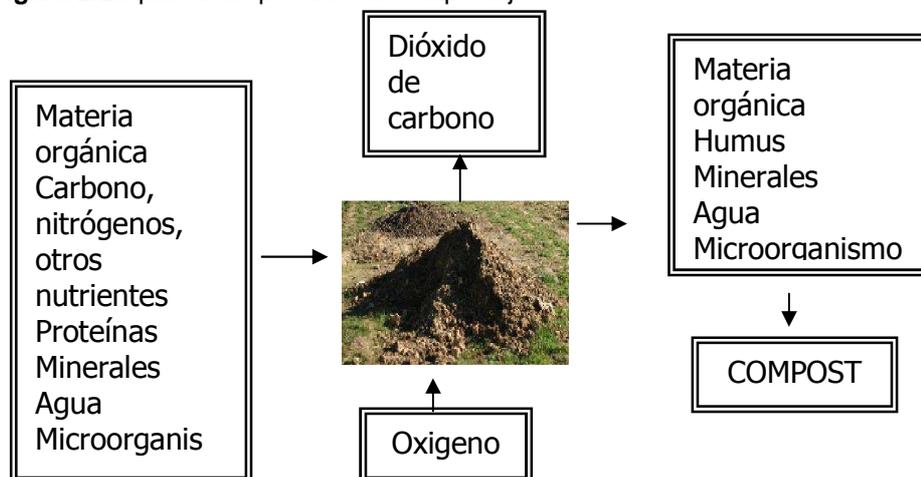
¹² Departamento de Montes. Deposito de documentos de la FAO. Paneles, papel y cartón hechos con residuos agrícolas. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/l2015s/l2015s03.htm>

2.3 COMPOSTAJE

2.3.1 Definición y proceso de compostaje. El compostaje consiste en la oxidación biológica, que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación; donde los microorganismos involucrados durante el proceso (bacterias, hongos y actinomicetos), utilizan el carbono y el nitrógeno disponibles en los residuos orgánicos y liberan energía por la actividad metabólica realizada.

El esquema presentado en la figura 2, representa el proceso que se lleva a cabo en la pila de residuos durante el proceso de compostaje. En ella se observa como la pila contiene no solo materia orgánica sino en ella diversos nutrientes, tales como nitrógeno carbono y a su vez posee proteínas, minerales y agua; además de los microorganismos que realizan el proceso, gracias a los residuos sólidos suministrados.¹³

Figura 2. Esquema del proceso de compostaje



Fuente. Asociación para el desarrollo rural de tierra de campos

¹³ Asociación colectivo para el desarrollo rural de tierra de campos. Investigación sobre usos agrícolas de la lana. Valladolid, España. Disponible en: <http://www.cdrtcampos.es/lanatural/compostaje.htm>

2.3.2 Organismos asociados al compostaje. Los organismos presentes durante el proceso, pueden dividirse en macroorganismos y microorganismos y su presencia varía de acuerdo a las condiciones presentadas dentro de la pila de compostaje.

Los primeros, refiriéndonos a escarabajos, ácaros depredadores, gusanos, entre otros, cumplen la función de romper los residuos, para que las partículas tengan mayor superficie de contacto y así facilitar la acción de los microorganismos, y los segundos degradan desde proteínas complejas y carbohidratos hasta aminoácidos y azúcares simples. Está constituido por bacterias, hongos y actinomiceto.¹⁴

- **Bacterias.** Son las principales responsables de la descomposición de los residuos y de la generación de calor. Durante la primera etapa del compostaje, las bacterias mesófilas son fundamentales dada su habilidad para crecer rápidamente en proteínas solubles y otros sustratos disponibles con facilidad. Posteriormente en la segunda etapa donde las temperaturas son mayores a 40°C predominan bacterias termófilas, pero disminuyen rápidamente a los 60°C o más. Finalmente cuando el compost se enfría, nuevamente predominan las bacterias mesófilas.

- **Actinomicetos.** Son considerados bacterias filamentosas, y suelen encontrarse en las últimas etapas del compostaje (< 40°C), en los primeros 10 a 15 cm de la pila. Sus encimas les permiten romper químicamente residuos ricos en celulosa, lignina, quitina.

¹⁴ Muñoz Trochez, José Sélimo. Compostaje en Pescador, Cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 2005. Disponible en:
http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Compostaje_Pescador.pdf

- **Hongos.** Son quienes atacan el material más resistente, juegan un papel limitado dentro del proceso de compostaje, exceptuando la etapa de maduración, en la cual se presentan temperaturas moderadas, la mayoría viven en las capas externas del compost cuando las temperaturas son altas (> 40°C). Los sustratos predominantes son lignina y celulosa.

2.3.3 Técnicas de compostaje. De acuerdo a las condiciones de aireación, periodo de volteo y calidad requerida del producto final, varían las técnicas de compostaje, por ello su selección depende de los objetivos planteados por el productor, la inversión a realizar, la disponibilidad de terreno, entre otros.

Para implementar la tecnología del compostaje, debe definirse el sistema de compostaje que va a utilizar; los cuales puede clasificarse como:

❖ **Sistemas abiertos.** Constituye el sistema tradicional, donde el sustrato a compostar se dispone en pilas ya sea al aire libre o cubiertas, así:

- Compostaje en pilas estáticas, consiste en la formación de pilas de baja altura, sin volteo y donde la aireación ocurre naturalmente por medio del aire que fluye a través de la pila.
- Compostaje en pilas de volteo o en hileras, consiste en amontonar en pilas alargadas los residuos, ya sea al aire libre o en galpones.
- Compostaje en pilas estáticas aireadas en forma pasiva, consiste en colocar el material a compostar en pilas y airearlo en forma pasiva, a través de una red de tuberías perforadas.
- Compostaje en pilas aireadas forzosamente, este sistema utiliza un compresor que succiona aire hacia el exterior o lo inyecta al interior, de tal forma que además de controlar la aireación de la pila también permite enfriarla.

❖ **Sistemas cerrados.** Son utilizados generalmente para el tratamiento de desechos sólidos municipales de tamaño medio o grande, fueron diseñados para reducir el área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso, pero sus costos son elevados. Entre este sistema podemos mencionar al compostaje en reactores, el cual ocurre en un contenedor o recipiente cerrado. Su principal ventaja es la rápida velocidad de descomposición obtenida (10 a 14 días), además tiene un bajo requerimiento de terrenos, un completo control del proceso y de la calidad del producto final. Sin embargo requiere un alto costo de instalación y operación.

2.3.4 Factores físicos y químicos que afectan el proceso. Es fundamental tener en cuenta que por ser un proceso biológico, el compostaje se ve afectado por los diversos factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos. Entre otros factores encontramos: el sustrato, la aireación, el contenido de humedad, la temperatura, el pH y la relación C/N, los cuales condicionan el éxito del proceso y por ende la calidad del producto final.

A continuación, se describe de qué manera influye cada uno de dichos factores en el proceso de compostaje.

- **Sustrato.** La obtención de una alta calidad en el producto final, depende directamente de la materia orgánica utilizada, la cual varía de acuerdo a: la naturaleza, el estado físico, y el origen. Adicionalmente deben tenerse en cuenta las características físicas del material, pues pueden afectar el grado de descomposición e incluso influir en las condiciones aerobias de la pila; entre dichas características, encontramos la porosidad, el tamaño de las partículas y la estructura.

- **Contenido de humedad.** El agua es uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje, ya que es vital para los microorganismos para disolver y transportar nutrientes y sustratos que solo pueden ser absorbidos como solución.¹⁵

Si el contenido de humedad es muy bajo, disminuye la actividad microbológica del proceso, haciendo el proceso más lento; y si es muy alta, presenta condiciones anóxicas por llegar a ocupar todos los poros de agua.¹⁶

- **Relación C/N.** Es considerado como uno de los factores ambientales fundamentales en el proceso de compostaje, ya que el carbono y el nitrógeno son los elementos más importantes para la descomposición microbiana; siendo el carbono quien proporciona una fuente de energía y el nitrógeno quien ayuda al crecimiento y la funcionalidad de la célula. Este factor necesariamente debe ser controlado, ya que permite asegurar una correcta fermentación y por ello es útil para indicar la velocidad de descomposición y determinar el tiempo de compostaje.

Inicialmente, la relación C/N óptima es entre 25 y 30 y disminuye con el tiempo de compostaje a causa de la descomposición de la materia orgánica y la emisión de CO₂. Si la relación C/N es muy baja, ocurren pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, a diferencia de cuando la relación es muy alta, indicando baja disponibilidad de nitrógeno, y por ende produciendo disminución de la actividad orgánica, alargando el proceso de compostaje.

- **Temperatura.** La temperatura varía de acuerdo a la actividad metabólica de los microorganismos y esta condicionada por la humedad y la aireación. De acuerdo a la temperatura el proceso de compostaje ocurre en 4 etapas: Mesofílica

¹⁵ Ibid

¹⁶ Avendaño Rojas, Daniella Alejandra. El proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Septiembre, 2003. Disponible en: http://www.puc.cl/agronomia/2_alumnos/ProyectosTitulos/pdf/DaniellaAvendano.pdf

(< de 40 °C), termofílica (40 a 60°C), fase de enfriamiento (< de 40 °C) y finalmente la fase de maduración (temperatura ambiente), en la cual la falta de alimento disminuye la actividad biológica y por ende la generación de calor metabólico.

Por ello, este factor refleja la actividad microbiológica, de tal manera que es determinante en la rapidez con la cual son metabolizados los materiales orgánicos.

- **pH.** Constituye un indicador para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. Varía con el tiempo durante el proceso de compostaje, debido a su acción sobre los microorganismos, por lo cual constituye un factor que permite evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos.

- **Aireación.** El suministro de aire es esencial para proveer el oxígeno a los organismos y eliminar el dióxido de carbono. El oxígeno es necesario para el metabolismo de los microorganismos aerobios y para oxidar moléculas orgánicas de la pila de residuos. Los niveles óptimos de oxígeno se consideran entre el 5 y 15 por 100.¹⁷

De encontrarse niveles inferiores, se producen condiciones anaeróbicas, mientras que con niveles superiores se producen pérdidas de calor y una disminución en la eliminación de organismos patógenos. La aireación también tiene como objetivo, mezclar los materiales y evitar su compactación.

Con base en lo anterior, en la tabla 2 se presenta en resumen los rangos de los factores que afectan el proceso de compostaje.

¹⁷ Kuter Chair, Geoffrey. Biosolids composting, Water Environmental Federation, 1995.

Tabla 2. Factores controlados en el proceso de compostaje

Factores	Rango razonable	Rango optimo
Relación carbono-nitrógeno	20:1-40:1	25:1-30:1
Contenido de humedad	40-65 %	50-60 %
Concentración de nitrógeno	Mayor 5 %	Mucho mas del 5 %
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Temperatura	45-66	55-60

Fuente: Kuter Chair, Geoffrey. Biosolids composting, Water Enviromental Federation, 1995.

2.4 MICROORGANISMOS EFICIENTES

2.4.1 Definición de microorganismos eficientes. Con fines de disminuir los tiempos de compostaje y mejorar la calidad del producto obtenido se realizaron diversas investigaciones, para determinar un conjunto de microorganismos con los cuales se pudiera acelerar el proceso, obteniendo resultados satisfactorios; así, un investigador japonés, el Doctor Teruo Higa, tras estudiar las funciones individuales de los diferentes microorganismos, encontró un grupo, que trabajando en simbiosis, potencializa el proceso de degradación. A este grupo de microorganismos los llamó EM (microorganismos eficientes).

2.4.2 Tipo de microorganismos. Los EM, consisten en una mezcla de 3 grupos de microorganismos (bacterias fototróficas, bacterias acidolácticas y levaduras), presentes en los ecosistemas naturales, que sin ser manipulados genéticamente son compatibles fisiológicamente entre ellos.¹⁸ A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

- **Bacterias Fototróficas o fotosintéticas.** Son quienes utilizando luz solar y calor del suelo como fuentes de energía, sintetizan sustancias útiles, tales como aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, a partir de excreciones de las raíces, la materia orgánica y de gases; promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las mismas plantas absorben los metabolitos, de manera que sirven como sustrato para incentivar el aumento de la población de otros microorganismos. Dentro de este grupo de bacterias, es común encontrar: *Rhodospseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides*

- **Bacterias Ácido Lácticas.** Producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por los otros dos grupos de microorganismos que constituyen los microorganismos eficientes, es decir bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico actúa como un esterilizador, eliminando microorganismos patógenos e incrementando la velocidad de descomposición de la materia orgánica. Estas bacterias son capaces de transformar algunos componentes de la materia orgánica (lignina y celulosa), gracias al aumento de su fragmentación sin causar efectos negativos al proceso. Dentro de este grupo, es común encontrar: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*.

¹⁸ Principios, origen y características de los microorganismos eficientes. Tecnología japonesa. Disponible en: www.fundases.com

- **Levaduras.** Se encargan de sintetizar a partir de aminoácidos y azúcares, materia orgánica y raíces, sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas.¹⁹ Sus secreciones constituyen sustratos útiles para los demás microorganismos eficientes. Dentro de este grupo encontramos: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*.

2.4.3 Características Técnicas Generales de los EM. Composición microbiológica: Bacterias fototrópicas, bacterias ácido lácticas y levaduras.

Presentación: líquido (Envase plástico de 4, 20, 30, 50, y 60 L).

Toxicidad: Ni irritante ni tóxico. No apto para consumo humano. No es inflamable ni explosivo.

Almacenamiento: Mantener el producto a temperatura ambiente protegido del sol.

Estabilidad: a temperatura ambiente el producto es viable durante 45 días, su pH es menor o igual a 3.5.²⁰

2.4.4 Modo de acción. Los diferentes microorganismos involucrados toman sustancias que son generadas por otros organismos, basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Los microorganismos eficientes utilizan sustancias secretadas por las raíces de las plantas para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas.

Al ir incrementando la población de microorganismos eficientes, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se aumenta la actividad de los

¹⁹ Serrano Yolanda. BACTERIAS FOTOSINTETICAS. Universidad Interamericana de Puerto Rico. Recinto de Bayamón. Departamento Ciencias Naturales y Matemáticas. Disponible en: <http://ciencias.bc.inter.edu/yserrano/Bacteria.html>

²⁰ EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ESTRUCTURA DE UN ANDISOL DEGRADADO DEL MUNICIPIO DE MARINILLA

microorganismos naturales, por lo cual se obtiene un enriquecimiento de la microflora, balanceando los ecosistemas micro viales y permitiendo la eliminación de microorganismos patógenos.

2.4.5 Aplicación de los EM en la agricultura. La aplicación de EM en la agricultura posee grandes beneficios, ya que reestablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejora sus condiciones físico-químicas, incrementa la productividad de los cultivos y los hace más resistentes, de tal manera que se genera una agricultura y un medio ambiente más sostenibles.²¹

2.4.6 Aplicación de los EM en el manejo de desechos animales. Su aplicación presenta gran cantidad de ventajas, principalmente por la reducción de malos olores provenientes de estiércol y orina, además que ayuda al aprovechamiento de los desechos animales, obteniendo rápidamente abono que sirve como acondicionador de suelos.

2.4.7 Aplicación de EM en el medio ambiente. Su aplicación es ventajosa, gracias a que al promover la fermentación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación evita la liberación de gases de olores molestos y la proliferación de insectos vectores.

²¹. Ramiro Ramírez Pisco, Mónica Estrada Agudelo, Hugo Jiménez Cuervo. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/efecto_de_los_microorganismos_eficientes_en_la_estructura_de_un_andisol_degradado_del_municipio_de_marinilla.pdf

3. METODOLOGIA.

El desarrollo de la investigación se llevo a cabo en la finca los Guadales, situada en la vereda Ropero a unos 7km del Municipio de Vélez. Sus coordenadas son Longitud 73° 36' 59", latitud 06° 01' 42.5", con una altura de 1784 m.s.n.m.

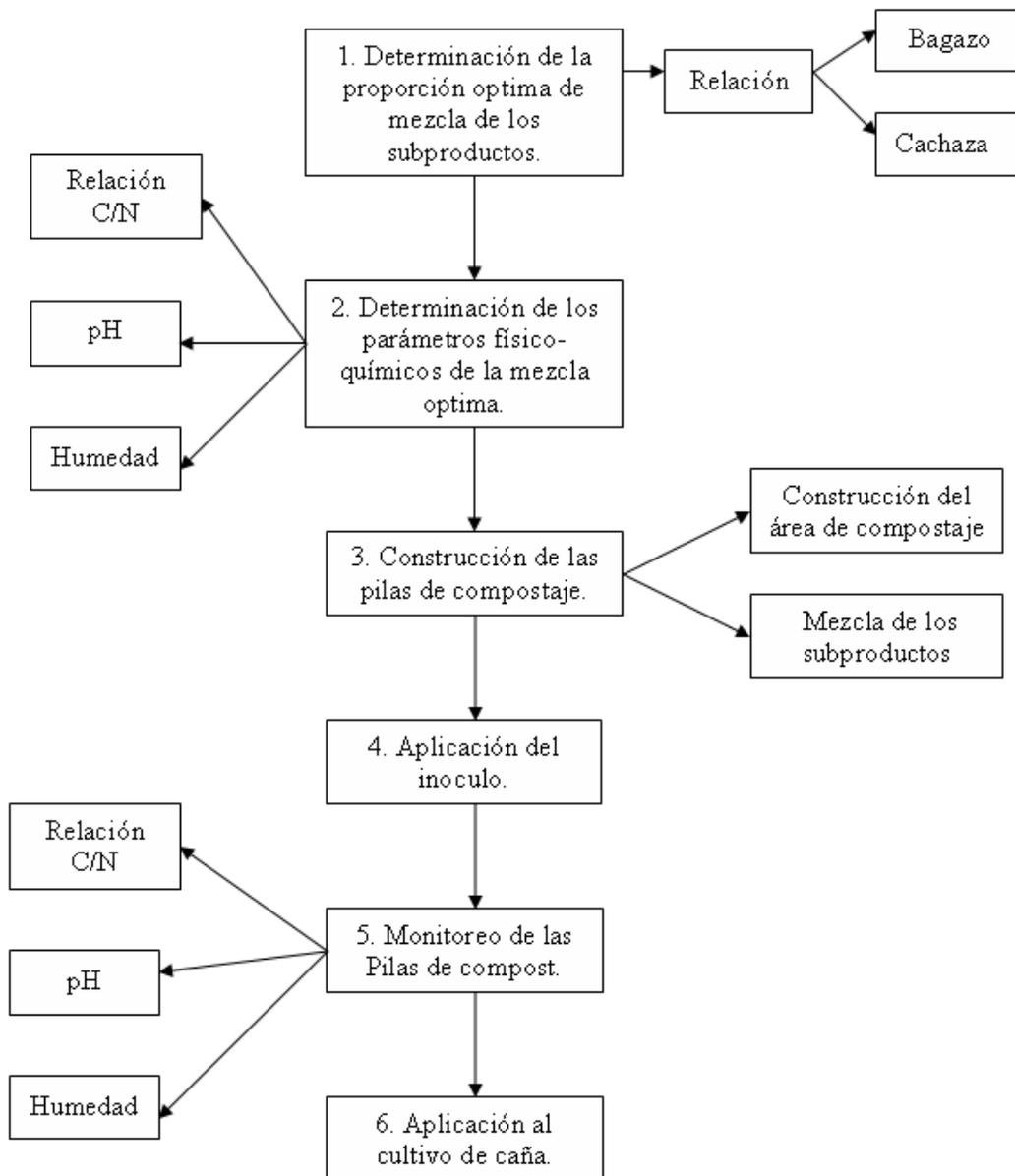
La finca los Guadales esta conformada por 62 ha con un paisaje llamativo por los diferentes lugares que se puede recorrer, allí se cultiva principalmente la caña se azúcar, pero también se pueden destacar otros cultivos como lo son el plátano, la naranja y el café.

El municipio de Vélez, sitio principal donde pertenece la finca los Guadales, se encuentra ubicado dentro del Departamento de Santander, cuya cabecera dista 238 Km. de Bucaramanga la Capital del Departamento. Vélez posee los pisos térmicos calido, templado y frío con una temperatura anual de 16.7°C y un promedio anual de precipitaciones de 1.886mm. Es considerada como la capital cultural de la zona por la importancia internacional del folclor y el festival de la guabina y el tiple. Su principal actividad productiva es la fabricación del bocadillo y explotación agrícola y ganadera.

Para la realización del proyecto, se estima como primera medida el tiempo aproximado, en el cual se logra completar las actividades y alcanzar la totalidad de los objetivos planteados. Cabe resaltar la importancia de la revisión bibliográfica continua durante la totalidad de la investigación.

3.1. DIAGRAMA DEL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA: La Figura 3 muestra un resumen de la metodología desarrollada durante el proyecto de investigación.

Figura 3. Diagrama de la metodología



Fuente: EL autor

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.2.1. Determinación de la proporción óptima de mezcla de los subproductos a utilizar. (Cachaza- Bagazo). Es importante determinar la proporción óptima entre los subproductos en estudio, la cual depende del grado de humedad, ya que de acuerdo al sustrato a utilizar, se establecen las condiciones iniciales que deben ser adecuadas para lograr la continuidad del proceso y así obtener los resultados esperados.

Con el fin de obtener dicha proporción, se realizaron combinaciones entre las proporciones de cachaza y bagazo, como se muestra en la tabla 3. Conservando la misma proporción de bagazo y variando la de cachaza, debido a que el bagazo de caña tiene gran capacidad de absorción. De esta manera se obtuvo la dosificación de cachaza y la proporción de bagazo a utilizar.

Tabla 3. Proporciones Cachaza/Bagazo

Cachaza(It)	Bagazo (lb.)
1	1
2	1
3	1

Fuente. Elaboración propia.

Para llevar a cabo la mezcla de los subproductos, primero se realizó el pesaje del bagazo, iniciando con un peso de una libra y posteriormente mezclándolo en un recipiente con un litro de cachaza, tal como se estableció en la tabla 3. Posteriormente se añadió poco a poco cada uno de los subproductos hasta obtener la humedad deseada y así continuar con el proceso del proyecto.

3.2.2. Determinación de los parámetros físicos-químicos. Para el inicio del proceso de compostaje, es fundamental conocer las características fisicoquímicas, tales como la relación C/N, la temperatura, el pH y la humedad con el fin de determinar la necesidad de optimizar la mezcla, ya que de acuerdo a dichos parámetros puede controlar adecuadamente el proceso de degradación.

Para la determinación de dichos parámetros se tomó una muestra de la mezcla obtenida anteriormente y se procedió a realizar los análisis de carbono total y de nitrógeno total, para así conocer la relación carbono nitrógeno y determinar si la muestra tiene que ser acondicionada adicionándole otros sustratos que mejoren la mezcla inicial.

La determinación de Carbono Total se realizó en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS, aplicando el método Tritrimétrico NTC 5167 y la determinación de la concentración de Nitrógeno total se realizó en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se aplicó el método estandarizado 4500 de nitrógeno total.

3.2.3 Construcción de las pilas de compost. Para el diseño de construcción de las pilas de compostaje se tomó como referencia un sistema de compostaje abierto, donde los sustratos a comportar se colocaron en pilas sobre un área cubierta.

Las pilas de compostaje contaron con un sistema de aireación pasivo por medio de guadas perforadas, tanto a nivel inferior como a nivel superior, garantizando la entrada continua de un flujo de aire fresco y la salida del flujo de aire caliente.

Se construyeron dos áreas de compostaje con las mismas dimensiones y sistemas de aireación; una de ellas fue nombrada pila EM y a la otra pila CONTROL. La pila

EM a diferencia de la pila CONTOL contenía el inóculo denominado comercialmente como Nutrimientos EM.

El diseño y las dimensiones del área de compostaje se pueden observar en el anexo A

3.3.1 Elaboración de la mezcla de los subproductos que conforman el compostaje. Una vez elaborada el área de compostaje con sus respectivos sistemas de aireación se procede a realizar la mezcla de los diferentes sustratos que conforman la pila de compostaje.

La figura 4, muestra el sustrato utilizado (estiércol vacuno) para el aumento de la concentración de nitrógeno, este sustrato fue anteriormente deshidratado y posteriormente almacenado.

Figura 4. Estiércol de vaca



Fuente. El autor.

El bagazo de caña utilizado fue un bagazo con varios meses de acumulación al aire, por lo tanto al igual que estiércol de vaca presentó una deshidratación, un porcentaje de humedad y una temperatura alta. La figura 5 muestra el gabazo de caña utilizado.

Figura 5. Bagazo de caña de azúcar



Fuente. El autor.

La figura 6 muestra la cachaza utilizada para la elaboración de la pila de compost, este sustrato fue almacenado en tanques y posteriormente se dejó reposar por un día para disminuir su temperatura, debido a que fue un subproducto que se tomó directamente del sitio de origen. Por tal motivo, en el momento en que se realizó la mezcla de los subproductos esta contenía un nivel de temperatura alta.

Figura 6. Cachaza



Fuente. El autor.

3.2.4. Aplicación del inóculo. Con el fin de mejorar la calidad del compost y reducir el tiempo de degradación de los sustratos en estudio, se realizó la aplicación del Nutrimiento EM (Microorganismos Eficientes) en la mezcla óptima obtenida; teniendo en cuenta las especificaciones del productor y distribuidor del consorcio microbiano ORJUELA GOMEZ Y CIA LTDA. (Ver anexo B). El producto fue adquirido en forma líquido, en una disponibilidad de 5lts. Para la inoculación se realizó una solución al 5% en un volumen de 30 litros, conformados de la siguiente manera, 75 litros de EM, 7.5 litros de melaza (fuente de energía de los microorganismos) y 15 litros agua lluvia.

La adición de la solución de Microorganismos Eficientes se realizó desde el inicio del proceso de compostación en una de las pilas en estudio y se continuó aplicando una dosis de cinco litros cada 15 días. La pila control se le adicionó agua lluvia para mantener la misma condición de humedad.

La figura 7 muestra el producto utilizado para la preparación de la solución inoculada.

.Figura 7. Nutrimientos EM



Fuente. El autor

3.2.5. Monitoreo de las pilas. Una vez montadas las pilas de compost, tanto la que contiene Nutrimientos EM y la de CONTROL, se realizó un monitoreo de temperatura, pH y humedad, los cuales son parámetros indispensables para el buen desarrollo del proceso de degradación.

La temperatura se determinó utilizando un termómetro Láser Etild, el cual se muestra en la figura 8. Para la determinación de dicho parámetro se extraía una de las guadas perforadas y el termómetro se ubicaba hacia el fondo del orificio formado. La temperatura se midió dos veces al día, una en la jornada de la mañana y otra en la jornada de la tarde, cambiando el sitio de toma de temperatura para obtener un registro de la totalidad de la pila.

Figura 8. Termómetro Láser



Fuente: El autor.

La humedad se determinó cada tres días, utilizando el método del puño, con el fin de garantizar una humedad óptima entre el 40% y 60% para el buen desarrollo del proceso.

El pH se determinó al inicio y al final del proceso, utilizando papel indicador de pH

El tiempo de monitoreo fue de un periodo de dos meses, tiempo en el cual se cumplió todo el desarrollo del proceso de degradación.

Al producto final obtenido del proceso, se le realizó un análisis bromatológico para determinar el contenido nutricional, como son las concentraciones de potasio, fósforo, magnesio, nitrógeno y carbono orgánico oxidable total y sus parámetros físicos-químicos. Este análisis se realizó en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander, aplicando los métodos mostrados en la tabla 4.

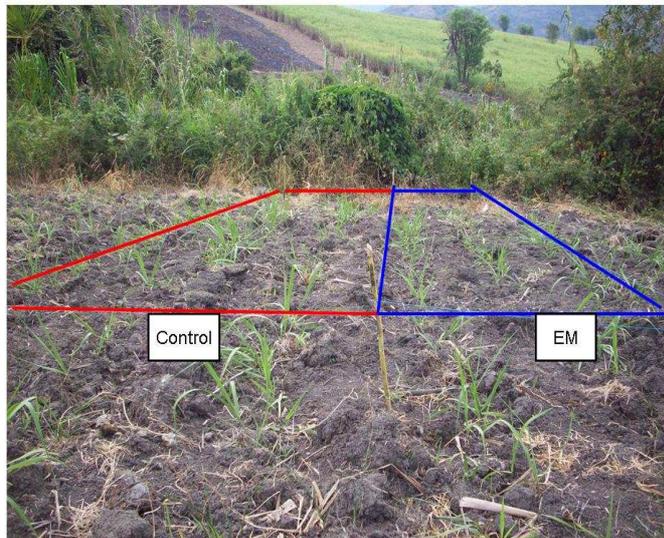
Tabla 4. Métodos aplicados para la determinación de parámetros fisicoquímicos.

PARAMETRO	MÉTODO
pH(unidades de pH)	Potenciométrico NTC 5167
Humedad (%)	Gavimétrico NTC 5167
Cenizas (%)	Gavimétrico NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	Titrimétrico NTC 5167
Nitrógeno (%N)	Kjeldahl NTC 5167
Fósforo (%P)	Gavimétrico – Titrimétrico NTC 5167
Calcio (%Ca)	Absorción Atómica NTC 5167
Magnesio (%Mg)	Absorción Atómica NTC 5167
Potasio (%K)	Absorción Atómica NTC 5167
Sodio (%Na)	Absorción Atómica NTC 5167
Hierro (%Fe)	Absorción Atómica NTC 5167
Cinc (%Zn)	Absorción Atómica NTC 5167
Magnesio (%Mg)	Absorción Atómica NTC 5167
Azufre (%S)	Espectrofotométrico NTC 5167

Fuente: El autor

3.2.4. Aplicación del compost en el cultivo de caña panelera. Para la evaluación del compost obtenido, se seleccionó dentro de un cultivo de caña de azúcar de un mes de sembrada, dos parcelas de 10 metros de largo por dos surcos de siembra de caña. En la parcela 1 se aplicó el compost obtenido de la pila EM y en la parcela 2 se le adicionó el compost obtenido de la pila CONTROL. La figura 9 muestra la parcelación que se realizó sobre el cultivo.

Figura 9. Parcelas para evaluar el compost

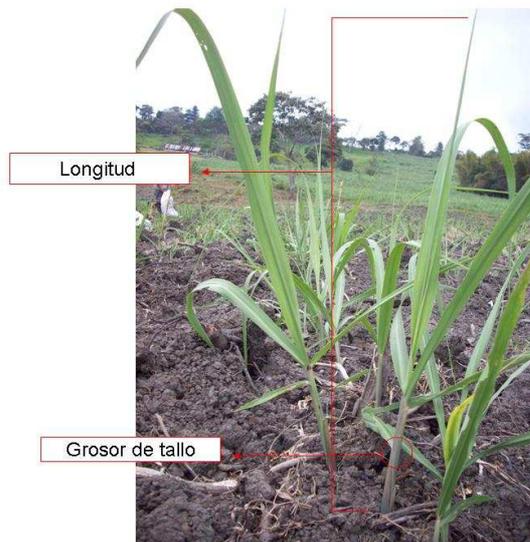


Fuente: El autor

Los parámetros que se evaluaron en la especie vegetal utilizada fueron los siguientes, como se muestran en la Figura 10.

- Longitud de tallo
- Grosor de Tallo.
- Numero de plántulas por surco.

Figura 10. Parámetros a evaluar sobre el cultivo de caña



Fuente: El autor.

❖ La longitud de la planta se determinó con una cinta métrica, midiéndola desde el piso hasta el ápice de la hoja de mayor tamaño, como se muestra en la figura 11

Figura 11. Longitud de la planta



Fuente: El autor.

❖ Para determinar el grosor del tallo se utilizó una medida indirecta, la cual corresponde a la medición del perímetro del tallo, como se muestra en la figura 12

Figura 12. Grosor de Tallo



Fuente: El autor.

Para la medición de números de plántulas se realizó un conteo directo del número de plantas nacidas dentro de cada surco, para así comparar el número de plantas nuevas

El número y las características morfológicas iniciales de las plántulas utilizadas para la evaluación del compost obtenido se muestran en la tabla 5

Tabla 5. Parámetros a evaluar dentro del cultivo de caña con un mes de sembrada

	EM	CONTROL
Número de Plántulas		
Surco # 1	57	56
Surco # 2	53	57
Longitud de planta		
Surco # 1	(60 – 70) cm	(70 – 80) cm
Surco # 2	40 cm	40 cm
Grosor del tallo	3.5 cm	3.5 cm

La evaluación final de las plántulas seleccionadas se realizó después de dos meses de la aplicación del compost. Es importante tener en cuenta, que durante el periodo de evaluación fue necesario realizar constantemente un riego manual debido a que se presentó tiempo seco, lo cual dificultaba el buen desarrollo de crecimiento de las plantas.

La figura 13 muestra la aplicación final del compost.

Figura 13. Aplicación del compost



Fuente: El autor.

4. DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN OPTIMA DE MEZCLA DE LOS SUBPRODUCTOS A UTILIZAR (CACHAZA- BAGAZO)

En el proceso de mezcla de los subproductos a utilizar, la humedad fue el parámetro fundamental para saber cual era la mezcla optima, debido a que el bagazo es un material fibroso con una alta capacidad de absorción y la cachaza es un residuo liquido, de tal manera que a media que se mezcló los subproductos se aplicó el método del puño para saber su humedad.

Además la humedad es un factor importante para el desarrollo del compostaje, si su contenido es bajo disminuye la actividad microbiana y si es alto produce condiciones anóxicas, debido al desplazamiento del aire libre por medio del agua.

De tal manera que la mezcla optima obtenida fue en la utilización de un litro de cachaza fresca + libra y pesa de bagazo de caña de azúcar.

4.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

Una vez obtenida la mezcla de los subproductos con una humedad óptima, se procedió a la determinación de carbono total y de nitrógeno total, para así conocer dicha relación y establecer si es necesario acondicionar la mezcla obtenida.

La tabla 6 muestra los datos obtenidos de Carbono total, representado por la concentración de la materia orgánica, y de Nitrógeno Total en los respectivos laboratorios (Anexo C).

Tabla 6. Resultados obtenidos de Carbono Total y Nitrógeno Total.

	Concentración de Materia orgánica (%)	Concentración de Nitrógeno Total (mg/Kg)
Muestra inicial	33.9	0.08
Muestra acondicionada.	29.3	1.2

Fuente: El autor.

Ya conociendo los resultados de dichos análisis, se estableció que la mezcla inicialmente obtenida debía ser acondicionada, debido a que su relación C/N fue demasiado alta para seguir con el proceso de compost. La relación C/N se determinó por medio de la siguiente formula:

$$C/N = \frac{\% M.O * 0.58}{\% N}$$

Donde:

C/N: Relación Carbono/ Nitrógeno

% C: Porcentaje de Materia Orgánica

% N: Porcentaje de Nitrógeno total de la muestra.

0.58: Constante de Jackson²²

²² Jackson, M.L. Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega. Barcelona, España.

Por lo tanto la mezcla inicial obtenida, presentaba una relación C/N:

$$C/N = \frac{\% M.O * 0.58}{\% N}$$

$$C/N = \frac{\% 33.9 * 0.58}{\% 0.00008}$$

$$C/N = 245775.$$

Una buena relación C/N garantiza el cumplimiento de todas las etapas del compost, por lo tanto se determinó que era de gran importancia acondicionar la mezcla aumentando su contenido de nitrógeno, ya que la mezcla inicial mostró en la formula que su porcentaje es significativamente baja, de tal manera que se desprecia su valor. Para realizar proceso de aumentar el contenido de nitrógeno en la mezcla, se realizó inicialmente una revisión bibliografica donde se pudo encontrar las diferentes fuentes de nitrógeno y los porcentajes de nitrógeno que ellos mismo aportan, tal como se muestra en la tabla 7

Tabla 7. Contenido de Nitrógeno de algunos materiales.

MATERIAL	NITRÓGENO(% de materia seca)	RELACIÓN C/N
Orines	15 - 18	0.8
Sangre	10 - 14	3.0
Bovinaza	1.7	18
Gallinaza	6.3	15
Porquinaza	3.8	38
Equinaza	2.3	25
Cortes de prado	3 - 6	12-15
Tamo de Trigo	0.3 - 0.5	128-150
Viruta de madera	0.1	200-500

Fuente: Abonos orgánicos, ASCAM(1999)

Como el propósito de este trabajo de grado fue elaborar un compost con materiales que contara el lugar de trabajo, se estableció que la fuente de nitrógeno a utilizar sería el estiércol de vaca, ya en el momento la finca Los Guadales contaba con un establo de gran número de animales vacunos.

De tal modo que una vez conociendo la fuente de nitrógeno con la cual se iba a trabajar, se procedió a realizar los respectivos cálculos para determinar en que proporciones se añadiría el estiércol de vaca a la mezcla inicial.

- Concentración óptima de nitrógeno: Conociendo que una relación C/N óptima es de 25, se determinó que porcentaje de nitrógeno es necesario para llegar a esa relación óptima, teniendo en cuenta que para los cálculos se desprecia el valor inicial de nitrógeno de la muestra.

$$C/N = \frac{\% M.O * 0.58}{\% N}$$

$$25 = \frac{33.9 * 5.8}{\% N}$$

$$\% N = 0.788$$

- Cantidad de estiércol necesario para añadir a la muestra: Conociendo el porcentaje teórico de nitrógeno que proporcionaba el estiércol de vaca y conociendo el porcentaje que se necesitaba, se realizó una relación entre estos datos determinando que cantidad de estiércol se utilizaría para la mezcla.

$$100\text{gr} \text{-----}) 1.7 \%N$$

$$x \text{-----}) 0.78 \%N$$

$$X = 46\text{gr.}$$

$$100\text{gr} \text{-----}) 46\text{gr.}$$

$$3650\text{gr (muestra inicial total)} \text{-----}) X$$

$$X = 1680\text{gr.}$$

Conociendo este valor se determino que la mezcla final de sustratos con la que se llevo a cabo la elaboración de la pila de compost fueron las siguientes proporciones.

1 litros de cachaza + 750gr de bagazo de caña + 1680gr de estiércol de vaca.

4.3 CONSTRUCCIÓN DEL ÁREA DE COMPOST.

Para la construcción del área de compostación se contó con el aprovechamiento del espacio de unas viejas cocheras de la finca los Guadales, lo cual proporcionó un mejor espacio y menores costos para el proyecto.

Las dimensiones con las que se construyó el área de compost fueron: dos metros y medio de ancho, respetando el ancho que ya contenía el sitio que se estaba aprovechando, y de altura se utilizó metro y medio, manejando así la altura máxima de pilas de compost para una mejor aireación.

Se elaboraron dos áreas de compostación con las mismas dimensiones, ya que a una de ellas se le adicionó constantemente una dosis de Nutrimientos EM, la cual se llamó pila EM y la otra simplemente se tomó como punto de comparación, la cual se llamó pila CONTROL,

Las figura14 y figura 15 permiten observar la elaboración del área de compostaje, donde el material con el que se trabajó fue la guadua, material el cual se encontraba en disponibilidad en el área de trabajo, la finca los Guadales cuenta con un sector cultivado de guadua tradicional

Figura 14. Dimensiones de la pila (exterior)



Fuente. El autor.

Figura 15. Dimensiones de la pila (Interior)



Fuente. El autor.

Construidas las bases de las pilas se colocó en la parte superior de ellas un plástico, inicialmente transparente para darle mayor resistencia y sobre el, uno negro, los cuales cumplieron la función de proteger del sol y las posibles lluvias presento el sitio de trabajo.

Terminada la construcción del área de compostaje se procedió a la elaboración del sistema de aireación, inicialmente se elaboró una aireación inferior aprovechando los orificios que presentaba la estructura, en donde los tubos de aireación con los que se trabajo fueron elaborados en guadua con un gran numero de perforaciones circulares a lo largo de su superficie, permitiendo así mantener una temperatura adecuada para el desarrollo del compost.

La figura 16 muestra el sistema de aireación inferior implementado en el área de compostaje.

Figura 16. Sistema de aireación inferior.



Fuente: El autor.

La figura 17 muestra el sistema de aireación superior implementado sobre la pila de compostaje, en donde al igual que sistema de aireación inferior se utilizó guaduas perforadas, pero manejando perforaciones rectangulares a una distancia de 15 cm una de la otra, a lo largo de toda la superficie de la guagua.

Para el sistema de aireación superior se contó con guaduas perforadas, las cuales fueron colocadas por todo el volumen del compost una vez terminada la mezcla de los sustratos, permitiendo así la salida del flujo de aire caliente y la entrada del flujo de aire fresco.

La implementación de este sistema de aireación sobre las pilas de compost (EM y CONTROL) permitió que las pilas mantuvieran un nivel de temperatura aceptable para la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, ya que los sustratos con los que se estaba trabajando presentaban concentraciones altas de carbono, favoreciendo los procesos metabólicos microbianos y por consiguiente elevando la temperatura del sustrato; además, no se estableció un sistema de volteo manual para no generar costos de personal, contrario a ello se diseñaron los sistema de aireación interno y externo anteriormente mencionados.

Figura 17. Sistema de aireación superior.



Fuente: El autor.

4.3.1 Elaboración de la mezcla de compostaje

La figura 18, muestran el proceso de elaboración de la mezcla de los diferentes sustratos que conformaron las pilas de compostaje, tanto la pila EM como la pila CONTROL, contenían las mismas proporciones. Para ello se utilizó: 504 kg de estiércol de vaca + 225 kg de bagazo + 150 litros de cachaza.

El bagazo utilizado dentro de la mezcla de sustratos presentó un porcentaje de humedad inicial debido a que este se encontraba al aire libre, de tal forma que se utilizó la mitad de cachaza requerida para la mezcla.

Los diferentes sustratos se fueron colocando por medio de capas, primero colocando una capa de bagazo, luego una de estiércol de vaca, vertiendo sobre ellos la cachaza, posteriormente se iban mezclando y repitiendo el proceso hasta terminar con las cantidades establecidas inicialmente, lo cual dio como resultado final una pila de compost de 1.20m de altura.

Figura 18. Mezcla de los sustratos



Fuente: El autor.

Culminado el tiempo de compost, el cual fue de dos meses y medio, se midieron todos los parámetros que se habían evaluado en el inicio del proceso; se tomaron muestras de las dos pilas y se llevaron al laboratorio para conocer los diferentes componentes que contenía el compost elaborado, tales como: potasio, fósforo, nitrógeno, carbono, magnesio, y los parámetros físico-químicos, pH, humedad.

La tabla 8, nos muestra los resultados obtenidos tras el análisis de laboratorio.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del compost obtenido.

PARAMETRO	VALOR PILA EM	VALOR PILA CONTROL
pH(unidades de pH)	8.79	8.97
Humedad (%)	41	53.8
Cenizas (%)	15.52	16.09
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	20.4	22.09
Nitrógeno (%N)	1.91	1.88
Fósforo (%P)	0.48	0.18
Calcio (%Ca)	1.79	1.84
Magnesio (%Mg)	0.28	0.23
Potasio (%K)	1.79	1.35
Sodio (%Na)	0.60	0.63
Hierro (%Fe)	0.18	0.19
Cinc (%Zn)	0.009	0.008
Magnesio (%Mg)	0.014	0.013
Azufre (%S)	0.10	1.06

Fuente. Reporte de resultados laboratorio químico de consultas industriales (ver anexo D)

Como se puede observar no existe mayor diferencia entre los valores de los parámetros fisicoquímicos que conformaron cada una de las muestras, pero se puede destacar que la implementación de Nutrimientos EM favoreció a un mejoramiento de condiciones de compostaje, tal como se esperaba según el marco teórico investigado, ya que la humedad obtenida para la pila EM fue de 41%, mientras que para la pila CONTROL fue de 53.8%, de igual forma se pudo observar una mejor actividad microbiana por parte de la pila EM, pues constantemente se adicionaba una dosis cada quince días de Nutrimientos EM, por lo tanto se esperaba que los valores de materia orgánica oxidable fueran menores para la pila EM con respecto a la pila CONTROL, tal como se muestran en los resultados obtenidos, 20.4% para la pila EM y un 22.09 para la pila CONTROL.

A su vez dicha actividad microbiana se reflejó en los valores obtenidos en cuanto al porcentaje de azufre dentro del compost, pues dicho valor aumenta con la mortalidad de microorganismos, mostrando así las muestras analizadas unos valores de 1.06 %S, para la pila CONTROL y 0.10 %S para la pila con EM.

En cuanto a los componentes de mayor importancia para determinar un abono de alta calidad como los son: %Nitrógeno (N), %Fósforo (P), %Potasio (K), %Calcio (Ca); se puede observar que los valores obtenidos estuvieron por debajo de los valores que contiene un abono orgánico de buena o alta calidad, pero no alejándose del valor mínimo el cual es del 2% para los componentes como: Nitrógeno (N), Calcio (Ca) potasio (K). los cuales se presentan en la tabla 9, ya que estos obtuvieron valores de 1.91%, 1.79% y 1.79% respectivamente; mientras que el Fósforo (P) tan solo llega a la mitad del valor mínimo, el 1%, obteniendo así un valor del 0.49%.

Tabla 9. Comparación del compost obtenido con otros

PARAMETRO	VALOR PILA EM	VALOR PILA CONTROL	ABONO ORGANICO
pH(unidades de pH)	8.79	8.97	6.5 -9.0
Humedad (%)	41	53.8	< 40
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	20.4	22.09	<20
Nitrógeno (%N)	1.91	1.88	> 2
Fósforo (%P)	0.48	0.18	> 2
Calcio (%Ca)	1.79	1.84	> 2
Potasio (%K)	1.79	1.35	> 2
Azufre (%S)	0.10	1.06	< 2

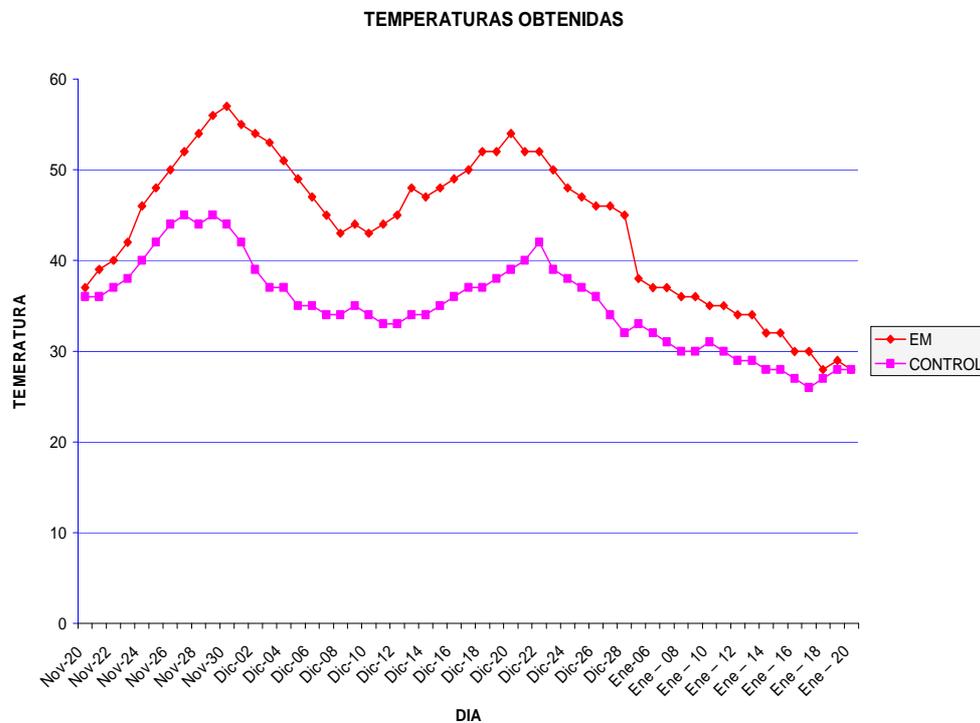
Fuente: El autor

4.4 MONITOREO DE LAS PILAS

Durante el proceso de monitoreo se obtuvieron datos de temperaturas las cuales eran medidas en el transcurso de la mañana y de la tarde, obteniendo así como resultado un promedio diario de temperatura, el cual puede verse en la figura 19

En el anexo E se puede ver la tabla de temperaturas.

Figura 19. Temperaturas obtenidas (diario)



Fuente. EL autor

En la figura 19 se pudo observar el comportamiento de las temperaturas dentro de las pilas; la temperatura que se observa es el producto de la actividad microbiana sobre la materia orgánica, lo cual indica que tanto en la pila con EM y de CONTROL existió una actividad microbiana, pero notándose una gran diferencia entre las dos, ya que en la pila con EM sus temperaturas son mas altas, siendo esta de 57°C, mientras que la pila de CONTROL presento una temperatura máxima de 45°C

Al inicio del periodo de compostaje las temperaturas son relativamente altas para las dos pilas, debido a la temperatura inicial que contenían los sustratos y a la actividad microbiana sobre los nutrientes simples que contenían cada uno de ellos tales como la fructosa, glucosa, por tal motivo se observo un aumento de

temperatura durante la primera semana, descendiendo durante la segunda semana, por agotamiento de los azúcares simple.

A partir de la tercera semana, se pudo observar un comportamiento estable de las pilas, iniciando así su etapa mesófila en 43°C para la pila EM, mientras que la pila CONTROL inicia dos semanas después con 39°C, demostrando de esta manera una mejor adaptabilidad y actividad microbiana por parte de la pila EM, lo cual se esperaba teóricamente.

Cuando las pilas de compost se encontraban en la cuarta semana, un tiempo en el cual la actividad microbiana debe ser alta, es decir, se hallaban en la etapa termófila, la pila EM presentó una mejor temperatura respecto a la pila CONTROL, siendo estas temperaturas de 54°C y 40°C respectivamente.

Después las pilas entraron a un descenso de temperatura muy lentamente, pero manteniéndose sobre un rango; la pila con EM se mantiene sobre un rango por encima de 40°, lo cual nos indica que su actividad microbiana es buena, mientras que la pila de CONTROL se mantiene sobre un rango de 35°, demostrando así su deficiencia de actividad microbiana,

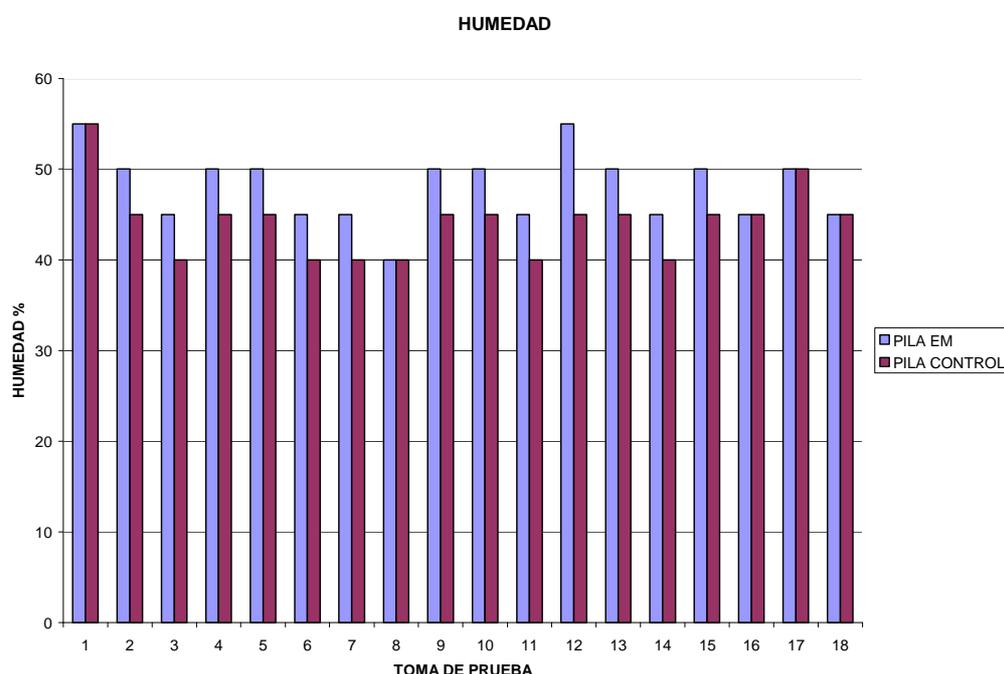
Finalmente en sexta semana las pilas entraron a una etapa de enfriamiento en donde la temperatura empieza a descender día tras día, pero observándose que pila EM mantiene un nivel de temperatura mejor que la pila CONTROL, pues al finalizando la sexta semana su temperatura fue de 30°C, mientras que la pila EM todavía mantenía una temperatura de 35°C, demostrando de esta manera que la pila EM presentó una mejor degradación de la materia orgánica.

Culminando la etapa de enfriamiento se observó que ambas pilas obtuvieron temperaturas por debajo de los 30°C, lo cual indicó que las pilas finalizaban su

proceso de compostaje, obteniendo una temperatura final de 28°C para ambas pilas.

La figura 20 muestra el comportamiento de la humedad a lo largo del proceso de degradación, las cuales eran determinadas cada tres días.

Figura 20. Humedad obtenida en las pilas



Fuente: el autor.

En ella se pudo observar que durante el desarrollo de la pila de compost, la humedad de ambas pilas se mantuvieron por encima del 40%, notándose que la pila con EM presentaba valores hasta un 55% mientras que la pila de CONTROL obtuvo un valor máximo de 50%. A su vez se pudo determinar que en la pila con EM presentaba valores de 50% en los días de inoculación de los EM, lo cual indicaba que esta pila mantenía un mejor balance de humedad.

El pH obtenido dentro de las pilas se determinó al inicio y al final de cada proceso, los cuales se pueden observar en la tabla 10, los resultados obtenidos demostraron que se mantuvo un pH óptimo dentro de las pilas.

Tabla 10 pH obtenido en las pilas de compost

pila	pH inicial	pH final
EM	6.8	7.5
CONTROL	6.5	8

Fuente: El autor

4.5 APLICACIÓN DE COMPOST AL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Después de la aplicación del compost en las parcelas se esperó un periodo de dos meses, debido a que el ciclo vegetativo de la caña de azúcar es un periodo largo, de 12 a 15 meses, en donde sus cambios morfológicos se observan a partir de los dos meses de sembrado, por tal motivo solo se tomó valores al inicio y al final del periodo de espera, ya que si se hacían tomas de valores en un periodo intermedio no se obtendrían cambios significativos dentro del cultivo.

Para la toma de datos se tuvo en cuenta las plantas más desarrolladas dentro de cada surco, obteniendo de tal manera un promedio para cada uno de los parámetros evaluados. La tabla 11 se representa los valores obtenidos, tanto para el inicio de la aplicación como para el final del tiempo evaluado,

Tabla 11. Parámetros evaluados durante la aplicación del compost

PARAMETRO	INICIO		FINAL	
	EM	CONTROL	EM	CONTROL
Longitud tallo	(40 -70)cm	(40-80)cm	1.40m	1.22m
Grosor tallo	3.5cm	3.5cm	5.3cm	5.4cm
Numero de plantas	55	56	149	147

Fuente: El autor.

En ella se pudo observar que durante el crecimiento de nuevas plantas ambos compost obtuvieron un promedio por encima de 90 plantas, siendo esto un promedio de 94 plantas nuevas para el compost con EM y 91 para el compost de CONTROL.

En cuanto a los parámetros de grosor de tallo y de longitud de la planta sucede básicamente lo mismo, entre los dos compost mantiene valores muy cercanos, pero notándose una mayor diferencia en cuanto a la longitud de la planta, ya que el compost con EM muestra un valor promedio de 1.40 m, mientras que el compost control muestra un valor de 1.22m.

Finalmente se puede determinar que la elaboración de compost a partir del aprovechamiento de los subproductos de la industria panelera en escala real fue una alternativa viable para la finca los Guadales ya que hoy en día dentro de su producción panelera se maneja al rededor de 300tn de caña de azúcar mensualmente, lo cual quiere decir que se generan cerca de 12tn de cachaza y 150tn de bagazo de caña mensualmente, de las cuales tan solo el 85% de bagazo y el 70% de cachaza son utilizadas. Por lo tanto la finca Los Guadales presenta un porcentaje de desaprovechamiento de residuos del 25% al 30% mensualmente lo cual indica que se puede desarrollar este proyecto dentro de la finca los Guadales.

5. CONCLUSIONES

- Se Elaboró un compostaje con los subproductos de la industria panelera con la aplicación de EM, demostrando que esta practica es una opción ambiental óptima de disminuir la problemática que ellos generan, debido a que se elaboró mediante un proceso de bajo costo y remplaza la utilización de fertilizantes químicos que causan el deterioro de los suelos.
- Se estableció las condiciones óptimas de la mezcla cachaza y bagazo, en la cual se determino que era necesario la aplicación de otro sustrato para brindar una mayor concentración de nitrógeno, debido a que está presentaba un déficit de dicho nutriente.
- Se determinaron los parámetros fisicoquímicos del compost obtenido en los cuales se pudo comprobar que la aplicación de los EM favorecen a un mejoramiento de condiciones desarrollo para el compostaje, debido a que brindada una mejor humedad para la actividad microbiana presente durante su proceso de degradación.
- Se determinó que el estiércol de vaca utilizada para el aumento de la concentración de nitrógeno dentro del compost, es un sustrato que limita la producción continua de compost, debido a que su proporción duplica la proporción de uno de los sustratos principales, el bagazo, además es una fuente de nitrógeno que no es constante en finca los Guadales.

8. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar ensayos con otras fuentes de nitrógeno como es el caso de la gallinaza, de tal manera que se mejore las condiciones iniciales de relación C/N, para obtener mejores resultados, pero teniendo en cuenta que dicha fuente sea de fácil acceso y de bajos costos.
- Por medio de los análisis fisicoquímicos realizados a la muestra final, se esperaba obtener un mejor porcentaje en cuanto a los valores de Calcio, Potasio y Fósforo, ya que la cachaza contiene valores muy altos sobre estos nutrientes y fue uno de los sustratos principales para la elaboración de compost, por tal motivo es importante realizar un análisis fisicoquímico a la cachaza a utilizar, sabiendo así sus principales aportes para el compostaje.
- Otro de los subproductos de la industria panelera que se puede emplear para la elaboración del compostaje es la ceniza, residuo que se obtiene por medio de la quema de bagazo como fuente de combustible para las hornillas, la ceniza nos ayudara aportar diferentes minerales dentro del proceso de compost.
- Los resultados obtenidos mediante el análisis fisicoquímico del compost obtenido muestran que algunos de los nutrientes fundamentales para la determinación de la calidad de un compost se encuentran cercanos a los valores mínimos de cada uno de ellos, lo cual quiere decir que con la continua investigación de este proyecto puede mejorarse la calidad del compost obtenido.

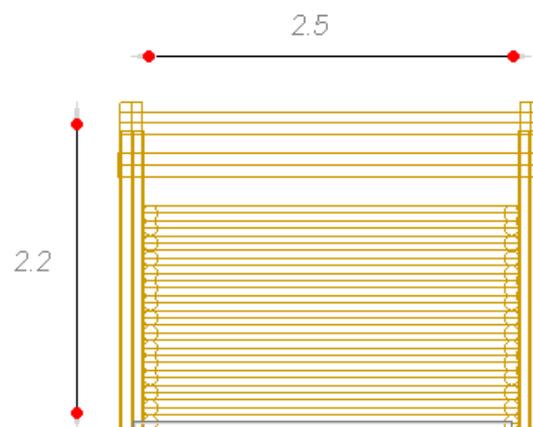
- Debido a que la finca los Guadales maneja solo alrededor del 70% de la reutilización de los subproductos de interés, da la oportunidad de implementar el desarrollo de esta investigación en cada una de las producciones paneleras, brindando así un ahorro y un beneficio dentro de su desarrollo industrial.
- Es importante realizar un estudio de viabilidad económica, en donde se observe la inversión necesaria para la implementación de este proyecto en escala real, presentando las ventajas o desventajas que esta tienen sobre la inversión que actualmente la finca los Guadales realiza para el abonamiento de sus cultivos de caña de azúcar.

7. ANEXOS

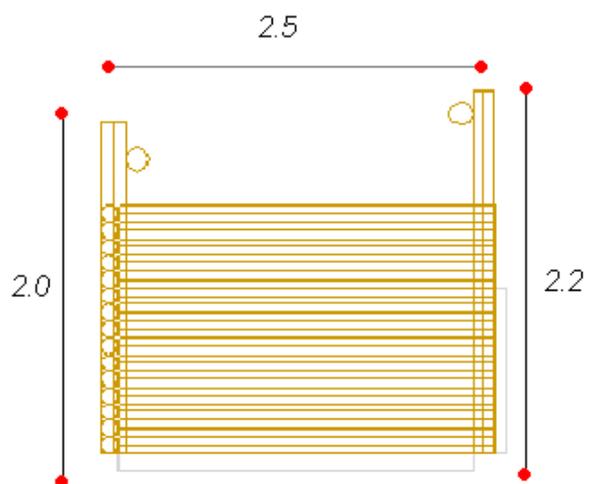
Anexo A

DIMENSIONES DEL AREA DE COMPOSTAJE

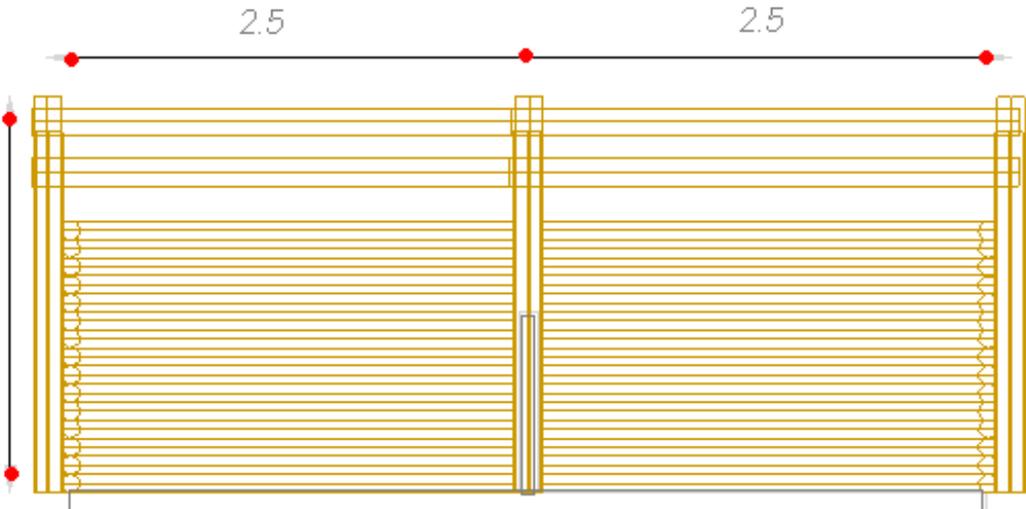
VISTA FRONTAL.



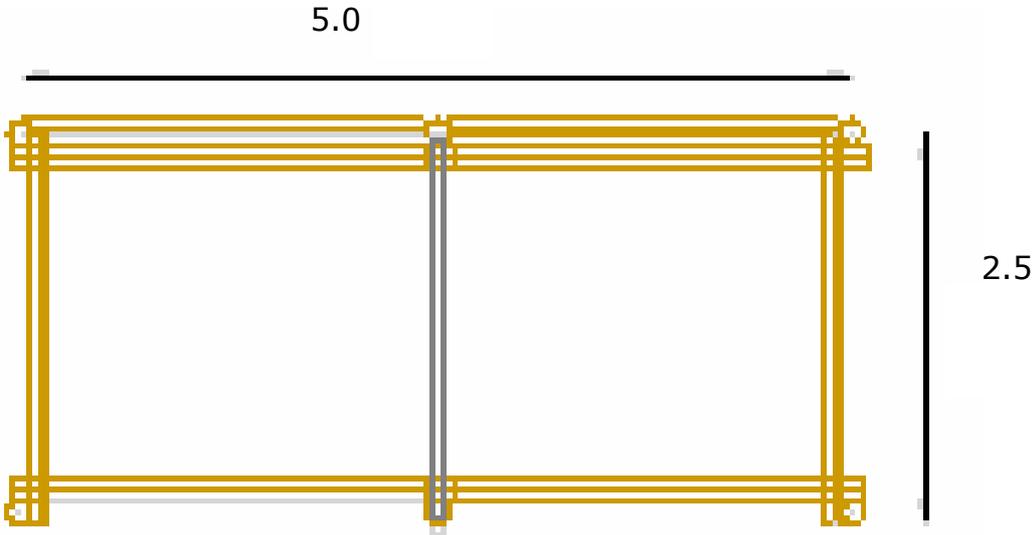
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL DE LAS DOS AREAS



VISTA SUPERIOR



Anexo B

Dosis en la agricultura:

PREPARACIÓN COMPOST:

Sustrato	EM	Agua
1 m ³	5 lt	50-100 lt según humedad abono

SEMILLAS O ESTACAS (Enraizamiento):

Solución al 5% y sumergir la semilla:

Tipo material	Tiempo
Semillas grandes	2 a 3 horas
Semillas medianas	30 a 60 minutos
Semillas pequeñas	20 a 30 minutos
Estacas, estolones, rizomas	15 minutos

PREPARACIÓN DEL TERREÑO:

Sobre el material vegetal picado:

Tiempo	Solución	lt EM/ha	lt mezcla/ha
Seco	5%	25	500
Lluvioso	10%	25	250

ASPERSIÓN AL FOLLAJE:

Solución al 2% y aplicar en la mañana o en la tarde:

Tipo cultivo	Frecuencia
Ciclo corto	cada 8 días
Semipermanente	Cada 15 días
Permanente	Cada 30 días

APLICACIÓN AL SUELO:

Alrededor del área de raíces, con suelo húmedo:

Tipo cultivo	Solución	Lt EM/ha	Frecuencia
Ciclo corto	5%	30	cada 8 días
Ciclo medio	5%	30	cada 15 días
Permanente	10%	45	cada 30 días

Dosis en la ganadería:

PRADERAS:

Aplicar al follaje después de cada despaste:

TIEMPO	Solución	Lt EM/ha	lt mezcla/ha
Seco	2,5%	2	80
Lluvioso	5%	2	40

AVICULTURA (camas):

Solución al 10%; 4 lt de mezcla por 100 m² de área, asperjando a la cama e instalaciones:

TIPO PRODUCCIÓN	FRECUENCIA
Pollo engorde	Diariamente
Gallina en piso	2-3 veces por semana
Gallina en jaula	Diariamente sobre la pila

ESTABLOS Y PORQUERIZAS:

Solución al 10%; 3 lt de mezcla por 100 m² de área, a la cama e instalaciones, diariamente

ESTERCOLEROS:

Solución al 100%; 1 lt EM / m³ de capacidad, diariamente durante los primeros 15 días; posteriormente 1 lt EM / 5m³ semanalmente

ALIMENTACIÓN:

Agua de bebida:

TIPO ANIMAL	Lt EM	lt agua
Pollo 1-14 días y polla levante	1	2.000
Pollo 15-42 días y gallina postura	1	1.000
Vacunos de cría	1	5.000
Vacunos de levante	1	3.000
Vacunos adultos	1	1.000

Concentrados:

Solución al 1%; asperjar sobre la ración diaria de las aves, cerdos y bovinos

Tratamiento aguas servidas:

Solución al 0,1% para aguas residuales domésticas

Tratamiento aguas para consumo humano:

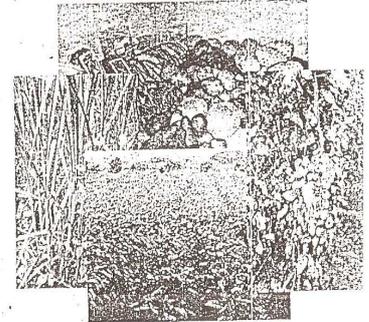
Inoculación de carbón vegetal suspendido en el agua de entrada de los tanques o sistema de tratamiento

NUTRIMENTOS EM

EM es la abreviatura de Effective Microorganisms (microorganismos eficientes).

EM es un cultivo mixto de especies seleccionadas de microorganismos que contienen un alto número de bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas y actinomicetos, mutuamente compatibles entre sí.

Estos microorganismos funcionan en cooperación produciendo sustancias bioactivas como vitaminas, hormonas, enzimas, y antibióticos que pueden directa o indirectamente mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas así como su producción.

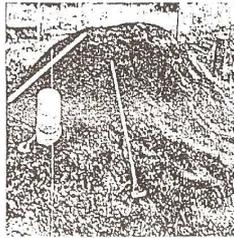


PRODUCTOR Y DISTRIBUIDOR:

ORJUELA GÓMEZ Y CIA. LTDA.
Agricultura Orgánica
Telefax: 0515653 Bucaramanga
Cel 315-3762545 312-4798937

Los principales efectos benéficos son:

- Acelera la descomposición de desechos orgánicos

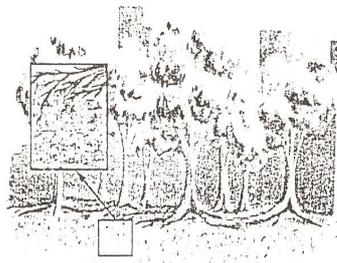


- Mejora la calidad del suelo y reduce la necesidad de fertilizantes
- Mejora la capacidad de agregación del suelo e incrementa la retención de agua
- Suprime el crecimiento y actividad de microorganismos nocivos, incluyendo patógenos
- Promueve la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de semillero



- Acelera la germinación, floración, formación de frutos y maduración
- Incrementa el potencial fotosintético de las plantas de cultivo

- Reduce la infestación de plagas y la necesidad de agroquímicos
- Corrige trastornos nutricionales y fisiológicos en los cultivos
- Incrementa el rendimiento y la calidad de los cultivos
- Reduce los efectos adversos del cultivo continuo

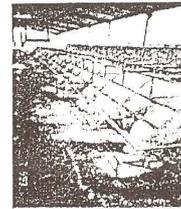


Los principales usos son:

- Como tratamiento pre-plantación asperjándose a los suelos
- Como aerosol o pulverizador foliar, rociándolo a través del sistema de irrigación
- Como inoculante para semillas y material vegetal de transplante
- Como inoculante para cultivos de vivero, plantas que crecen en recipientes o en sistemas hidropónicos
- Como inoculante para una gran variedad de cultivos de agricultura y horticultura

- Como inoculante para acelerar la descomposición de residuos de cultivos y ganadería y otros desechos orgánicos de fuentes municipales

- Como inoculante para elaborar diferentes tipos de abonos



- Como tratamiento para contrarrestar la acción de microorganismos que causan putrefacción y malos olores en alojamientos de animales

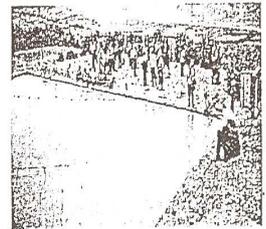
- Para tratamiento para el control de la oxidación y herrumbre de las instalaciones

- Como inoculante para el incremento de la flora intestinal de los animales

- Como inoculante para el incremento de la palatabilidad de los forrajes

- Como inoculante para renovar aguas residuales y aguas de superficie contaminadas

- Como tratamiento de aguas para consumo humano



Anexo C



REPORTE DE RESULTADOS

FECHA: Octubre 09 de 2007

SOLICITUD No 169

NOMBRE DEL SOLICITANTE: SANDRA CORTÉS

No. DE MUESTRAS: 1

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: Cachaza con Bagazo de Caña de Azúcar y Estiércol de Vaca

MUESTRAS TOMADAS POR: El Solicitante

FECHA DE LLEGADA AL LABORATORIO: Septiembre 21 de 2007

RESULTADO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

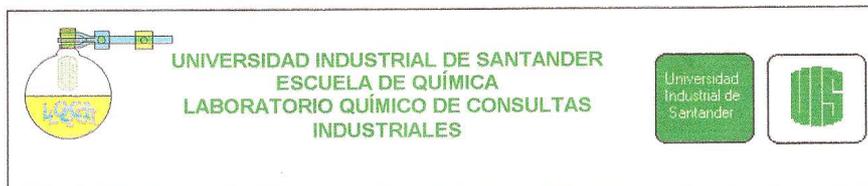
PARÁMETRO	RESULTADOS	MÉTODO
Materia Orgánica (%)	29.3	Titrimétrico


Luz Yolanda Vargas Fiallo
Directora Laboratorio Químico
de Consultas Industriales
Matrícula Profesional PQ.1144

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración. COPIA DE RESULTADO ORIGINAL.

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 222
Apartado Aereo 0678 - Conmutador: 6344000 Ext. 2465. Telefax: 6349009
E-mail: labquimco@yahoo.es
Bucaramanga - Colombia



REPORTE DE RESULTADOS

FECHA: Agosto 29 de 2007 SOLICITUD No 141
 NOMBRE DEL SOLICITANTE: **SANDRA CORTÉS**
 No. DE MUESTRAS: **1**
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: **Bagazo de Caña de Azúcar**
 MUESTRAS TOMADAS POR: **El Solicitante**
 FECHA DE LLEGADA AL LABORATORIO: **Agosto 23 de 2007**

RESULTADO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	RESULTADOS	MÉTODO
Humedad (%)	60	Gravimétrico
Materia Orgánica* (%MO)	33.9	Titrimétrico

NOTA: Resultado reportado en base seca.

Luz Yolanda Vargas Fiallo
 Directora Laboratorio Químico
 de Consultas Industriales
 Matrícula Profesional PQ.1144

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración. COPIA DE RESULTADO ORIGINAL.

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 222
 Apartado Aereo 0678 - Conmutador: 6344000 Ext. 2465. Telefax: 6349009
 E-mail: labquimco@yahoo.es
 Bucaramanga - Colombia

Anexo D



REPORTE DE RESULTADOS

Página 1 de 2

FECHA: Marzo 05 de 2008

SOLICITUD No 038

NOMBRE DEL SOLICITANTE: SANDRA CORTES

No DE MUESTRAS: 2

MUESTRAS TOMADAS POR: El Solicitante

FECHA DE LLEGADA AL LABORATORIO: Febrero 19 de 2008

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICO

PARAMETRO	No.1	No.2	MÉTODO
pH (Unidades de pH)	8.79	8.97	Potenciométrico NTC 5167
Humedad (%)	41	53.8	Gravimétrico NTC 5167
Cenizas (%)	15.52	16.09	Gravimétrico NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	20.4	22.09	Titrimétrico NTC 5167
Nitrógeno (%N)	1.91	1.88	Kjeldahl NTC 5167
Fósforo (%P)	0.48	0.18	Gravimétrico - Titrimétrico NTC 5167
Calcio (%Ca)	1.79	1.84	Absorción Atómica NTC 5167
Magnesio (%Mg)	0.28	0.23	Absorción Atómica NTC 5167
Potasio (%K)	1.79	1.35	Absorción Atómica NTC 5167
Sodio (%Na)	0.60	0.63	Absorción Atómica NTC 5167
Cobre (%Cu)	N.D	N.D	Absorción Atómica NTC 5167
Hierro (%Fe)	0.18	0.19	Absorción Atómica NTC 5167
Cinc (%Zn)	0.009	0.008	Absorción Atómica NTC 5167
Manganeso (%Mn)	0.014	0.013	Absorción Atómica NTC 5167
Azufre (%S)	0.10	1.06	Espectrofotométrico NTC 5167

N.D No Detectable a la mínima concentración detectada por el método.

Ciudad Universitaria - Edificio Camilo Torres / Laboratorio 222
 Apartado Aereo 0678 - Conmutador: 6344000 Ext. 2465. Telefax: 6349009
 E-mail: labquimco@yahoo.es
 Bucaramanga - Colombia

Anexo E

Tabla 12. Temperaturas obtenidas durante el compostaje.

FECHA	T° EM	T° CONTROL
Nov- 20	37	36
Nov- 21	39	36
Nov- 22	40	37
Nov- 23	42	38
Nov- 24	46	40
Nov- 25	48	42
Nov- 26	50	44
Nov- 27	52	45
Nov- 28	54	44
Nov- 29	56	45
Nov- 30	57	44
Dic- 01	55	42
Dic- 02	54	39
Dic- 03	53	37
Dic- 04	51	37
Dic- 05	49	35
Dic- 06	47	35
Dic- 07	45	34
Dic- 08	43	34
Dic- 09	44	35
Dic- 10	43	34
Dic- 11	44	33
Dic- 12	45	33
Dic- 13	48	34
Dic- 14	47	34
Dic- 15	48	35
Dic- 16	49	36
Dic- 17	50	37
Dic- 18	52	37
Dic- 19	52	38
Dic- 20	54	39
Dic- 21	52	40
Dic- 22	52	42
Dic- 23	50	39
Dic- 24	48	38
Dic- 25	47	37
Dic- 26	46	36
Dic- 27	46	34

Dic- 28	45	32
Dic- 29	--	--
Dic- 30	--	--
Dic- 31	--	--
Ene - 01	--	--
Ene - 02	--	--
Ene - 03	--	--
Ene - 04	--	--
Ene - 05	38	33
Ene - 06	37	32
Ene - 07	37	31
Ene - 08	36	30
Ene - 09	36	30
Ene - 10	35	31
Ene - 11	35	30
Ene - 12	34	29
Ene - 13	34	29
Ene - 14	32	28
Ene - 15	32	28
Ene - 16	30	27
Ene - 17	30	26
Ene - 18	28	27
Ene - 19	29	28
Ene - 20	28	28

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUILAR NOÉ RIVERA, Producción de celulosa y papel a partir del bagazo de caña de azúcar. Universidad Veracruzana (México), Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Revista Residuos, Septiembre – Octubre 2006. pág. 70 - 80.

CASTIBLANCO ALBERTO ALADANA, Agricultura orgánica, Capitulo dos, EL COMPOST. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2005. Primera Edición. Pág. 93 - 104

CAR MOJICA AMIL PIMENTO, PAREDES JOAQUIN VEGA, El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander, Centro Regional de Estudios Económicos Bucaramanga, Diciembre ,2004.

CATAÑO AIDEE, Un residuo agroindustrial usado en la agricultura biológica, Cachaza de caña como alternativa de abonamiento. Revista La Era Agrícola No. 18. [En línea] < www.eraecologica.org/resvista_18/abono.htm>

ESPINAL CARLOS FEDERICO, MARTINEZ HÉCTOR COVALEDA. La cadena agroindustrial de la panela en Colombia, una mirada global de su estructura y Dinámica. 1991-2005. Documento de trabajo No. 103. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogota, Enero 2006. [En línea] < www.agrocadenas.gov.co >

FONSECA ACOSTA EDWAR, Producción mas limpia en el subsector panelero, Convenio 000152 2002, SENA – FEDEPANELA. Disponible en:

<http://www.fedepanela.org.co/Cartilla%20PML.pdf>

FONSECA ACOSTA EDUAR, MAYORGA CARLOS FERNANDO, Guía para la producción de panela de buena calidad, Convenio 000152 2002, SENA – FEDEPANELA. Disponible en:

<http://www.fedepanela.org.co/Cartilla%20procesos.pdf>

FONSECA ACOSTA SAUL ADUAR, Guía ambiental para el sector panelero. 2002 disponible en:

http://www.ideam.gov.co/apcaa/img_upload/ccf8a2325cc9292dc1cf8549cc72e8d8/Guia_Ambiental_Panelera.pdf.

GÓMEZ JAIRO ZAMBRANO, Abonos Orgánicos, Capítulo cinco, los abonos orgánicos, Universidad Nacional de Colombia. Santiago de Cali, mayo de 2000. pág. 50 - 68.

MUÑOZ TROCHEZ JOSE SÉLIMO, Compostaje en Pescador Cauca: Tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánico y su contribución a la solución de problemas medio ambientales. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración. 2005 Pág. 9 – 23.

RAMIRO RAMÍREZ PISCO, MÓNICA ESTRADA AGUDELO, HUGO JIMÉNEZ CUERVO. Efecto de los microorganismos eficientes en la estructura de un andisol degradado del municipio de marinilla. Disponible en:

http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/efecto_de_los_microorganismos_eficientes_en_la_estructura_de_un_andisol_degradado_del_municipio_de_marinilla.pdf

REYES JEISSON LEONARDO ACOSTA, Eficiencia energética del sistema de producción “caña panelera” en el municipio del Valle de San José, departamento

de Santander. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Bogota , Abril 2003.

RIVEROS MAURICIO ANGEL, Aprovechamiento de subproductos de la caña panelera en la producción animal, Convenio 000152 2002, SENA – FEDEPANELA. Disponible en:

<http://www.fedepanela.org.co/Cartilla%20Alimentacion%20animal.pdf>

SUÁREZ RAFAEL RIVACOBIA (MINISTERIO DEL AZÚCAR-MINAZ) Y RAFAEL B. MORÍN (OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN-ONN). Caña de azúcar y sostenibilidad: Enfoques y experiencias cubanas. Disponible en:

http://www.laneta.apc.org/desal/spip/article.php3?id_article=26

ZEREGA M., LUIS. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Vol. 11 N° 2, CAÑA DE AZÚCAR, 1993. Venezuela. Disponible en:

<http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/cana/cana1102/texto/manejo.htm>.

