

**CONTROL DE LA CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE  
LOS SUBPRODUCTOS DE CAÑA DE AZÚCAR *Saccharum  
officinarum* EN EL INGENIO MAYAGUEZ S.A**



**LUZ LEY CAMARGO GOMEZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA  
PAMPLONA  
2015**

**CONTROL DE LA CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO A PARTIR DE  
LOS SUBPRODUCTOS DE CAÑA DE AZÚCAR *Saccharum  
officinarum* EN EL INGENIO MAYAGUEZ S.A**

**LUZ LEY CAMARGO GOMEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL  
TITULO DE MICROBIÓLOGA**

**Director  
JOSÉ FELIX ORTIZ LEMUS  
PhD. BIOLOGIA MOLECULAR Y BIOTECNOLOGIA**

**Codirectora  
LINA MARIA RINCON PRIETO  
MICROBIOLOGA DEL LABORATORIO DE COMPOSTAJE DEL  
INGENIO MAYAGUEZ S.A**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA  
PAMPLONA  
2015**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Primer Jurado

---

Firma del Segundo Jurado

Pamplona (Norte de Santander - Colombia), de Diciembre de 2015.

## DEDICATORIA

*A Dios.*

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mis padres.*

*Isabel Gómez y Manuel Camargo, por haberme apoyado en todo momento, por creer en mí, por sus consejos, sus valores, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracteriza y que me han infundado siempre; por el valor mostrado para salir adelante, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional.*

*A mis hermanos*

*Mauricio Gómez, Manuel Camargo, Eduardo Gómez, Jhon Gómez y Luis Colina, por su apoyo y darme ánimos, en los momentos en que pensé desistir, y gracias a sus consejos, me dieron la fuerza para no darme por vencida.*

*A mi novio*

*Miguel Ángel López, por siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos; ya que a pesar de la distancia fue mi apoyo incondicional y con sus palabras de ánimo y confianza en mí, logre culminar uno de mis sueños.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hizo realidad este sueño tan anhelado.

A la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA por darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional.

Agradezco especialmente a mi director José Félix Ortiz Lemus por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. Mil gracias.

También agradezco a mis profesores durante toda mi formación, profesional por brindarme sus conocimientos y experiencias, en especial a los profesores Claudia, Liliana, Ángela, Luz Alba, Raquel, Fanny, Alba, William, Enrique, Ovidio, Yesid, Rodolfo, Francisco y Danny por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

A todo el personal de la planta de compostaje del Ingenio MAYAGUEZ S.A; Al ingeniero Carlos Andrés Paz y Lina Rincón Prieto, por permitirme entrar en ella; por su gran apoyo y paciencia, mil gracias.

A mis suegros Inés Pabón y Migue López quienes me brindaron su apoyo incondicional durante el tiempo de formación.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION -----	11
1. OBJETIVOS -----	13
1.1 Objetivo general -----	13
1.2 Objetivos específicos -----	13
2. JUSTIFICACION -----	14
3. MARCO REFERENCIAL -----	15
3.1 BASES LEGALES -----	15
3.2 ANTECEDENTES -----	16
3.3 MARCO TEÓRICO -----	18
3.3.1 Compostaje -----	18
3.3.2 Microorganismos del proceso de compostaje -----	19
3.3.2.1 Bacterias -----	21
3.3.2.2 Actinomicetos -----	22
3.3.2.3 Hongos y levaduras -----	22
3.3.2.4 Arqueas -----	22
3.3.3 Microorganismos patógenos durante el compostaje	23
3.3.4 Sistema de compostaje -----	23
3.3.4.1 Pilas o hileras volteadas -----	23
3.3.4.2 Pilas estáticas aireadas -----	25
3.3.5 Parámetros importantes en la calidad de un compost -----	26
3.3.5.1 Humedad -----	25
3.3.5.2 Densidad aparente -----	26
3.3.5.3 pH -----	27
3.3.5.4 Conductividad eléctrica (C.E) -----	27
3.3.5.5 Temperatura -----	28
3.3.6 Vinaza -----	28
3.3.6.1 Tratamientos aplicados a la vinaza -----	29
4. METODOLOGÍA -----	30
4.1 ANALISIS FISICOQUIMICOS -----	30
4.1.1 Determinación de la Humedad -----	30
4.1.2 Cuantificación de cenizas -----	30
Determinación de pH y conductividad eléctrica ----	31
4.1.3 Medición de la temperatura-----	31
4.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS -----	31
4.2.1 Enriquecimiento, aislamiento y detección de <i>Salmonella</i> sp.-----	31
4.2.2 Recuento total de microorganismos mesófilos facultativos, enterobacterias, bacterias sulfito reductoras, mohos y levaduras -----	32

4.2.3 Detección de huevos de helminto viables -----	35
4.3 EVALUACION DE LA VINAZA A DIFERENTES CONCENTRACIONES -----	33
4.3.1 Recolección de la vinaza de caña de azúcar -----	33
4.3.2 Obtención del inóculo -----	33
4.3.3 Evaluación del crecimiento en medios sólidos -----	34
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES -----	35
6. RESULTADOS Y DISCUSION -----	36
7. CONCLUSIONES -----	49
8. RECOMENDACIONES -----	50
9. GLOSARIO -----	51
10. BIBLIOGRAFÍA -----	53
11. ANEXOS -----	56

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química de la vinaza.	29
Tabla 2. Composición química de la vinaza utilizada.	32
Tabla 3. Cronograma de actividades realizadas en la planta de compostaje del ingenio Mayagüez S.A.	35
Tabla 4. Datos aproximados de los recuentos de los análisis microbiológicos.	42
Tabla 5. Crecimiento de los hongos en medios sólidos con vinazas.	45



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Esquema general del proceso de compostaje.	19
Figura 2. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje	21
Figura 3. Supervivencia de patógenos durante el proceso de compostaje.	23
Figura 4. Planta de compostaje ingenio MAYAGUEZ S.A. Sistema abierto.	25
Figura 5. Pila estática con aireación	26
Figura 6. Porcentaje de humedad	36
Figura 7. Porcentaje de cenizas.	37
Figura 8. Conductividad eléctrica (C.E)	38
Figura 9. Dinámica de algunas variables durante el ensayo.	39
Figura 10. Determinación del pH	40
Figura 11. Determinación de la temperatura	41
Figura 12. Variación de la temperatura a través del tiempo	42

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Géneros de eucariotas microbianos detectados en el proceso de compostaje.	56
Anexo 2. Géneros procariotas presentes en el proceso compostaje.	57
Anexo 3. Requisitos fisicoquímicos para abonos o fertilizantes sólidos.	58
Anexo 4. Requisitos microbiológicos para abonos o fertilizantes sólidos.	59
Anexo 5. Medios de cultivo	60
Anexo 6. Composición de los medios de cultivo	60

## INTRODUCCION

En Colombia existen una gran variedad y cantidad de residuos de caña de azúcar, por cada tonelada de tallos molidos en el proceso de transformación agroindustrial, se extraen 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza, 30 kg de cachaza y 14 L de vinaza por cada litro de alcohol producido a partir de la melaza<sup>1</sup>. Actualmente en el ingenio MAYAGÜEZ, se producen alrededor de 138,700 Ton de cachaza al año, y por cada litro de alcohol anhidro producido a partir de la meladura se generan 2L de vinaza.

La vinaza es un subproducto obtenido en la etapa de la destilación, posee minerales como potasio, fósforo, aluminio, magnesio, boro entre otros, que son importantes para la agricultura pero si no se maneja en forma correcta, puede ser un contaminante de los suelos y el agua. Para evitar esto, la vinaza es aprovechada por sus componentes para hacer fertilizantes orgánicos<sup>2</sup>.

La cachaza es un residuo rico en materia orgánica, Calcio (Ca), Fosforo (P) y Nitrógeno (N). Sin embargo, su aplicación directa puede causar daños al cultivo de caña. El proceso de compostaje permite reducir la dosis de aplicación y facilita el transporte e incorporación en campo. Este proceso permite una aceleración en la degradación y mineralización de la materia orgánica presente en la cachaza<sup>2</sup>.

Estos subproductos, son usados para producir Bio-abono mediante un proceso de compostaje aeróbico, en el cual se mezcla la vinaza con la cachaza. La producción estimada es de 52,000 toneladas de compost por año.

---

<sup>1</sup> BOHÓRQUEZ, Alexander., *et al.* Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 2014. 15(1). p.73

<sup>2</sup> SALGADO, S. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol málico de Chiapas, México. En: Revista Interciencia. 2008. Vol. 33 (11). p. 855 – 860.

Actualmente, el compost producido en el Ingenio MAYAGÜEZ S.A se viene utilizando en campo para la fertilización de sus cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), por cada hectárea se aplican 10 toneladas de compost. Este producto contribuye a la conservación del medio ambiente y sostenibilidad de las tierras, en tanto que mejora la estructura y fertilidad del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua.

El pretratamiento biológico es uno de los mecanismos usados para sustancias con alta materia orgánica como la vinaza, siendo esta una alternativa muy interesante para dar un manejo previo a la utilización como fertilizante en campo o como materia prima para el proceso de elaboración de compost, contribuyendo de esta manera a la conservación del medio ambiente. Se han realizado estudios en los cuales se han empleado en algunas especies de hongos como *Penicillium decumbens*, *Aspergillus terreus* y *Geotrichum candidum*, con la finalidad de remover compuestos complejos presentes en la vinaza<sup>3</sup>.

Este trabajo se llevó a cabo en el Ingenio MAYAGÜEZ S.A, el objetivo fue determinar la calidad del compost producido en la planta de compostaje, mediante análisis microbiológico y fisicoquímico establecidos por la NTC 5167 de 2011<sup>4</sup>, de tal forma que pueda ser utilizado como acondicionador de suelos. Adicionalmente se realizó un ensayo preliminar para evaluar la vinaza a diferentes concentraciones mediante el crecimiento de *Trichoderma harzianum* y *Aspergillus niger* en medios sólidos.

---

<sup>3</sup> JIMÉNEZ, A., BORJA, A y Martín, A. Aerobic-anaerobic biodegradation of beet molasses alcoholic fermentation wastewater. *Process Biochemistry*. 2003. 38 (9). 1275–1284.

<sup>4</sup> NTC 5167 de 2011. (Segunda actualización). Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

Determinar la calidad microbiológica y fisicoquímica del compost obtenido a partir de los subproductos de caña de azúcar *Saccharum officinarum* en el ingenio Mayagüez S.A.

### 1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar micro y fisicoquímicamente el compost producido en el ingenio Mayagüez S.A a través de la NTC 5167 y de normas internas del laboratorio.
- Evaluar la vinaza como posible sustrato de compostaje, mediante su utilización como medio de cultivo para *Aspergillus niger* y *Trichoderma harzianum*.

## 2. JUSTIFICACION

En Colombia se producen aproximadamente 10 millones de litros de vinaza por día, el ingenio MAYAGÜEZ S.A produce una cantidad considerable de vinaza que oscila entre los 350.000 – 400.000L por día. Estos volúmenes de residuos han generado gran problema para la empresa, ya que producen un impacto directo sobre el entorno si se disponen inadecuadamente (vertimiento), generando contaminación a fuentes de agua superficial y subterránea, debido a su alta carga orgánica. Razón por la cual el ingenio ha implementado el proceso de compostaje como un sistema de tratamiento de este residuo, en el cual se mezcla con la cachaza generando un abono orgánico para consumo interno de los cultivos de caña.

Por lo anterior se hace necesario controlar dicho proceso mediante el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la norma vigente para abonos orgánicos NTC 5167, lo cual asegura la calidad del compost y permite su aplicación correcta en el suelo, sin poner en riesgo al medio ambiente y contribuyendo a la sostenibilidad de las tierras, al mejorar su estructura, fertilidad y aumento de su capacidad de retención de agua.

La vinaza presenta una riqueza nutricional (materia orgánica, Potasio, Nitrógeno, Fosforo, Calcio, Sulfatos, y otros micronutrientes) y por este motivo se ha incorporado como materia prima en el proceso de compostaje, sin embargo; también es un residuo que como se mencionó anteriormente, representa un serio problema para la empresa por el gran volumen de producción y por los altos niveles de DQO que aumentan el tiempo de proceso, razón por la cual se ha buscado reducir la carga orgánica antes de incorporarla en el proceso. Por lo anterior, el Jefe de la planta Ing. Carlos Andrés Paz Cadavid (comunicación personal, noviembre de 2015); planteo la posibilidad de dar un pretratamiento biológico a la vinaza y evaluarla como posible sustrato para el crecimiento de *Aspergillus niger* y *Trichoderma harzianum* a diferentes concentraciones; siendo éste un ensayo previo en búsqueda de una alternativa que logre una mayor optimización y mejoramiento del proceso, generando reducir tiempo y calidad del producto final.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 MARCO LEGAL

Norma Técnica Colombiana 5167: 2011<sup>5</sup>. Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo.

Norma técnica colombiana – ISO 8633: 2001<sup>6</sup>. Determina el método de muestreo simple para lotes pequeños. Lleva el control de las cantidades de fertilizantes de máximo 250t y presenta el método a emplear.

Resolución 0100 –No 0081: 2012<sup>7</sup>. Por la cual reglamenta el uso, manejo, aplicación, almacenamiento de las vinazas, y de los productos que de ella se deriven, en el área de jurisdicción de la corporación autónoma regional del Valle del Cauca- CVC.

ISO 9001: 2008<sup>8</sup>. Es la base del sistema de gestión de la calidad ya que es una norma internacional y que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios.

ISO 14001: 2004<sup>9</sup>. Es la norma internacional de sistemas de gestión ambiental (SGA), que ayuda a su organización a identificar, priorizar y gestionar los riesgos ambientales, como parte de sus prácticas de negocios habituales.

---

<sup>5</sup> NTC 5167 de 2011. Op. Cit. 51

<sup>6</sup> NORMA ISO 8633: 2001<sup>6</sup>. Método de muestreo simple para lotes pequeños.

<sup>7</sup>Resolución 0100 –No 0081: 2012. Uso, manejo, aplicación, almacenamiento de las vinazas.

<sup>8</sup> NORMA ISO 9001: 2008. Sistema de gestión de calidad.

<sup>9</sup> NORMA ISO 14001:2004. Sistema de gestión ambiental

### 3.2 ANTECEDENTES

El ingenio MAYAGÜEZ S.A ha venido realizando desde el año 2005, análisis fisicoquímicos y microbiológicos a la materia prima, material en proceso y producto terminado del compost en el laboratorio de la planta de compostaje, acogiéndose con los protocolos establecidos por la NTC 5167<sup>10</sup>

Sánchez en el 2009<sup>11</sup>, caracterizó microbiológicamente el proceso de compostaje a partir de residuos azucareros y evaluó su efecto sobre el grado de maduración del compost. Durante el proceso de compostaje se realizó análisis microbiológicos: cuantificación de bacterias aerobias mesófilas y termófilas, bacterias celulolíticas y hongos.

Otros trabajos realizados fue en el ingenio Riopaila Castilla, por Bohórquez, en el 2013<sup>12</sup>, evaluó la calidad fisicoquímica del compost producido a partir de subproductos de caña de azúcar con miras a determinar que parámetros eran susceptibles de mejoramiento para optimizar el proceso y mejorar la calidad del compost producido y así asegurar que se brindara un acondicionador de suelos con los mayores contenidos de nutrientes, para ser utilizados en las labores agronómicas del cultivo de caña. De igual forma se encontró otro estudio realizado por Bohórquez, *et al*, en el 2014<sup>13</sup>, donde evaluó la calidad del compost elaborado con diferentes combinaciones de subproductos del proceso de molienda de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Las variables de fisicoquímicas evaluadas fueron: pH, conductividad eléctrica, humedad, cenizas, materia orgánica, retención de humedad, relación carbono – nitrógeno, las analizo al momento de montar las pilas, y a los 42, 51, 59, 73 y 90 días después de iniciado el proceso. Los resultados mostraron una adecuada maduración del compost durante 90 días presentando buena calidad con alto contenido de nutrientes.

---

<sup>10</sup> NTC 5167 de 2011. Op. Cit. 8

<sup>11</sup>SÁNCHEZ, Tibayde. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop.* 2009. Vol.59 (3). 309-316.

<sup>12</sup>BOHÓRQUEZ, Alexander. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azúcar en la compañía Riopaila Castilla. Tesis. Magister en Ciencias Agrarias. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Posgrado. 2013. p. 123.

<sup>13</sup> BOHÓRQUEZ, Alexander. Op. Cit 16.



Prieto en el 2015 realizo análisis de control de calidad con el fin de asegurar que el compost producido en INCAUCA S.A cumpla con las normas microbiológicas establecidas por la NTC 5167, con requisitos y ensayos sobre abonos orgánicos; así como el comportamiento de grupos microbianos en la materia prima, material en proceso y producto terminado.

Actualmente, los procesos biológicos han sido reconocidos como métodos efectivos para tratamientos de vinazas provenientes de destilerías, tanto en sistemas aerobios como anaerobios<sup>15</sup>. Baldiris., *et al*<sup>16</sup> ha reportado en su trabajo estudios realizados para el tratamiento de las vinazas en condiciones aerobias empleando algunos géneros de hongos como *Penicillium decumbens*, *Aspergillus terreus* y *Geotrichum candidum*, con la finalidad de remover compuestos fenólicos, los cuales en concentraciones altas, inhiben la acción de bacterias anaeróbicas.

---

<sup>14</sup>PRIETO, Gabriel. Control de calidad del proceso de compostaje en INCAUCA S.A. Trabajo de grado: Microbiólogo. Universidad de Pamplona. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Microbiología. Cali. 2015. Pág 84.

<sup>15</sup>Benitez, F.J.; Real, F; Acero, J.; García, J. & Sánchez, M. Kinetics of the ozonation and aerobic biodegradation of wine vinasses in discontinuous and continuous processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2003 (101), 203-218.

<sup>16</sup>BALDIRIS, Luisa; LÓPEZ, E., Castillo, J y Caicedo, LD. Biodegradación de la vinaza de caña de azúcar con cepas de los hongos *Schyzophyllum commune* y *Trichoderma viride*. Universidad Santiago de Cali. Grupo de investigación en micología (GIM). 2012. 6 (14). 39-46.

### 3.3 MARCO TEORICO

#### 3.3.1 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<sup>17</sup>.

Se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios, que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen, el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento. Durante este proceso se han de controlar distintos factores que aseguren una correcta proliferación microbiana y, por consiguiente, una adecuada mineralización de la materia orgánica<sup>18</sup>.

El compostaje constituye un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos, que degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia de oxígeno generando un producto estable humificado junto con gases, agua y calor como residuos del metabolismo microbiano (Figura 1). Este tipo de microorganismos depende de las condiciones nutricionales y ambientales, en cuyas variaciones intervienen sus propias necesidades<sup>19</sup>.

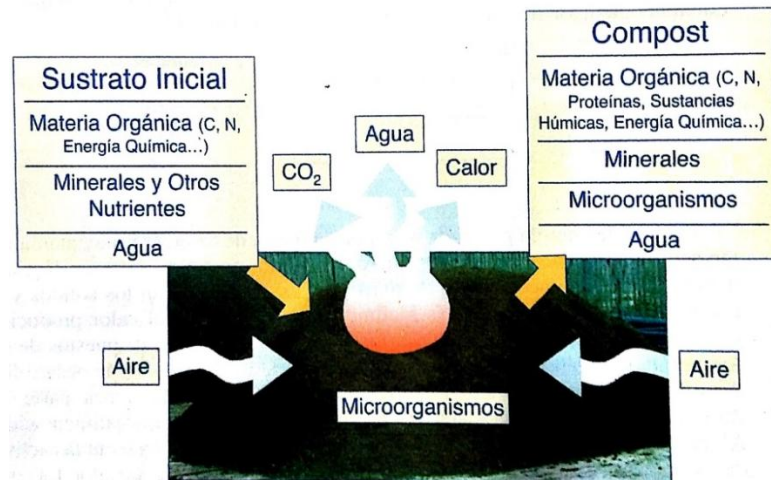
---

<sup>17</sup> CORTES, Sandra. Aprovechamiento de subproductos de la industria panelera en la elaboración de compost, utilizando microorganismos eficientes (EM). Trabajo de grado: ingeniería ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería ambiental. Bucaramanga. 2008. Pág. 84.

<sup>18</sup> LOPEZ, Wendy. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis: Maestría en biotecnología aplicada. Instituto Politécnico Nacional Centro De Investigación en Biotecnología. México. 2010. Pág. 126.

<sup>19</sup> MORENO, Joaquín. Compostaje. Editorial; Mandí prensa S.A. Barcelona, México. 2008. Pág. 120.

**Figura 1.** Esquema general del proceso de compostaje. Tomado de Moreno, 2008.



Durante el compostaje los microorganismos quimioheterótrofos utilizan los sustratos orgánicos como fuente de carbono y energía en presencia de oxígeno, a través de distintas rutas metabólicas que convergen en el ciclo de Krebs, donde se generan cantidades importantes de reducción que permiten la obtención de energía en forma de ATP<sup>20</sup>.

### 3.3.2 MICROORGANISMOS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

La diversidad microbiana es un prerequisite para el compostaje satisfactorio de cualquier sustrato. Durante el mismo se desarrolla una gran variedad de microorganismos aerobios mesófilos, termotolerantes y termófilos que incluyen bacterias, actinomicetos, arqueas, hongos y levaduras.

De acuerdo con las variaciones térmicas y las reacciones metabólicas predominantes, en el compostaje se reconocen tradicionalmente cuatro fases (Figura 2):

- Fase mesófila (10- 42°C); Inicialmente los sustratos a temperatura ambiente comienza actuar las bacterias, hongos mesófilos y termotolerantes que utilizan rápidamente sustancias carbonadas y de fácil degradación (azúcares y aminoácidos), ocasionando una disminución del pH, como consecuencia a la producción de ácidos orgánicos. La actividad metabólica de los microorganismos en esta fase da lugar a un aumento rápido de la temperatura, lo que ocasiona la transición de microbiota mesófila a termófila cuando se alcanzan los 42- 45°C<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> MORENO, Joaquín. Op. Cit 113

<sup>21</sup> Ibíd, p. 115

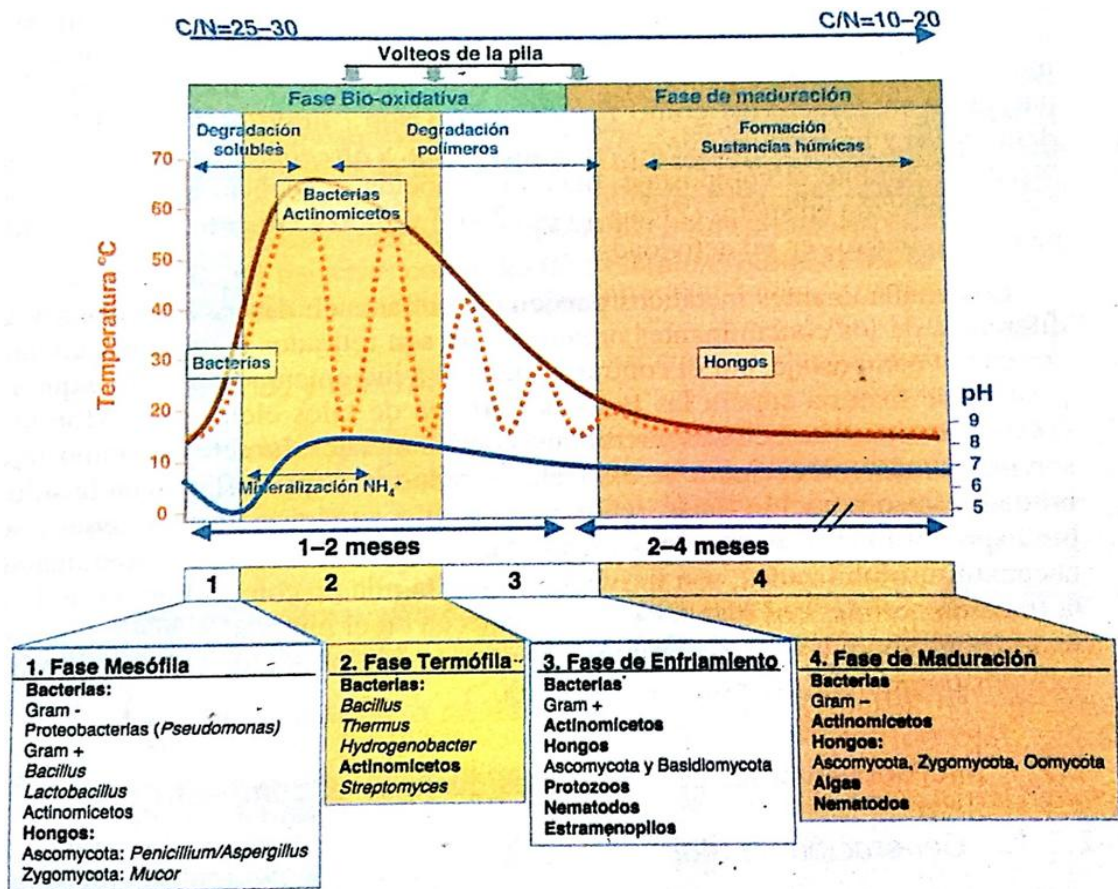
- ▶ Fase termófila (45 – 70°C); Proliferan exclusivamente microorganismos termotolerantes y termófilos tales como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp), diversos *Bacillus* sp, termófilos y bacterias Gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*. Los microorganismos no tolerantes, incluyendo patógenos y parásitos son inhibidos durante esta fase<sup>22</sup>.
- ▶ Fase de enfriamiento o segunda fase mesófila; y la fase de maduración; Estas fases están caracterizadas por el crecimiento de una nueva comunidad mesófila, donde predominan hongos y actinomicetos capaces de degradar compuestos complejos. Estas bacterias presentes en estas etapas están implicadas en la oxigenación de hidrogeno, amonio, nitrito y sulfuros, en la fijación de nitrógeno, reducción de sulfatos, producción de exopolisacáridos y producción de nitrito a partir de amonio bajo condiciones heterotróficas. Conforme avanza la maduración la comunidad se hace más estable compleja y a una composición que se asemeja bastante a la de ambientes oligotróficos como los suelos<sup>22</sup>.

Alternativamente el proceso se puede dividir en dos fases globales que se diferencian en los niveles de actividad microbiana y sustratos disponibles; fase bio-oxidativa o de crecimiento activo de los microorganismos, en la que existe una elevada disponibilidad de nutrientes; y fase de maduración en la que la actividad microbiana es menos protagonista y los nutrientes están limitados. De acuerdo con este esquema la fase bio-oxidativa estaría a su vez diferenciada en varias fases termófilas y mesófilas que se activarían en operaciones de volteo y concluiría una vez que la producción de calor decrece debido al agotamiento de compuestos fácilmente biodegradables y, como consecuencia de la reducción de actividad microbiana. Una vez finalizado el proceso, se obtiene un producto humificado estable o maduro en el que los mecanismos de descomposición microbiana no ocurren o lo hacen de forma muy lenta<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p.116- 118

**Figura 2.** Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje. Tomado de Moreno, 2008.



**3.3.2.1 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. Las bacterias identificadas en compostaje incluye diversas especies agrupadas en los siguientes grupos (Anexo 1): Bacilos Gram positivos de bajo contenido G +C (clase Bacilli), clostridios, especies del phylum bacteroidetes (Cytopaga-Flavobacterium-Bacteroides), proteobacterias, actinobacterias y los géneros *Hydrogenobacter* y *Thermus*. Los géneros bacterianos más frecuentemente detectados en la mayoría de los procesos de compostaje son *Bacillus* y *Pseudomonas*<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p.115

<sup>23</sup> CORTES, Sandra. Op. Cit 29

**3.3.2.2 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 enzimas les permiten romper químicamente residuos ricos en celulosa, lignina, quitina. El género comúnmente encontrado en el proceso de compostaje es *Streptomyces* cuyas especies, suelen generar antibióticos, producen un olor característico a tierra mojada, debido a la emisión de compuestos volátiles<sup>24</sup>.

Los actinomicetos, también han sido descritos como agentes de biocontrol por la capacidad de producir enzimas biodegradativas, como: quitinasas, glucanasas, peroxidasas y otras, involucradas en el papel del micoparasitismo, que llevan a cabo estos microorganismos<sup>25</sup>.

### **3.3.2.3 Mohos y levaduras**

Los 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 hongos y levaduras encontradas durante el compostaje pertenecen a las clases Ascomycetes, Zigomycetes, Basidiomicetes, Saccharomycetes y ureidiomycetes, en orden decreciente en cuanto a la frecuencia de especies detectadas de cada clase en distintos procesos de compostaje (Anexo 2). Los géneros fúngicos más frecuentemente detectados durante el compostaje son *Aspergillus* y *Penicillium*, seguido de los géneros *Mucor*, *Acremonium*, *Mortierella*, *Fusarium*, *Chaetomium* y *Scopulariopsis*. Las levaduras detectadas en compostaje corresponden a los géneros *Candida*, *Rhodotorula*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Torulopsis* y *Trichosporon*<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> CORTES, Sandra. Op. Cit. 29

<sup>25</sup> ESCOBAR N., et al. Op. Cit 8

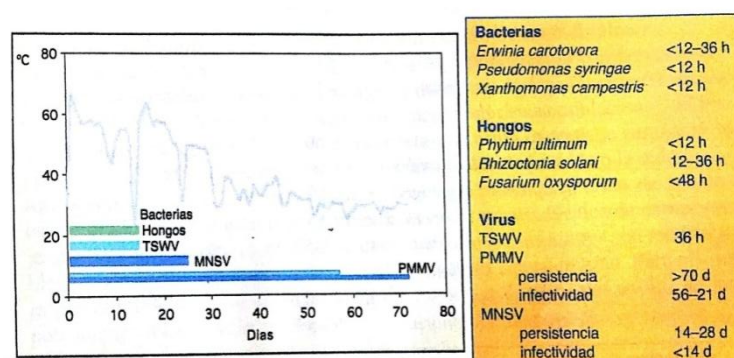
<sup>26</sup> MUÑOZ, José. Compostaje en pescador, cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medio ambientales. Trabajo de grado; ingeniero ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración Ingeniería Ambiental. Palmira. 2005. Pág. 33.

**3.3.2.4 Arqueas:** Constituyen un grupo de procariotas que presentan características similares a las bacteria del genero *Methanosarcina* y *Methylobacterium*, aunque se encuentran separadas filogenéticamente de estas por un dominio (*Archaea*) e incluye muchas especies que se desarrollan en ambientes extremos. En el compostaje solo se han detectado arqueas anaerobias productoras de metano, cuya presencia en este ambiente típicamente aerobio podría estar relacionada con la formación de microambientes anaerobios en el seno de la pila de compostaje<sup>26</sup>.

### 3.3.3 Microorganismos patógenos durante el compostaje

La causa considerada de mayor importancia para la eliminación de microorganismos patógenos es el aumento de la temperatura. Este factor afecta de distinta forma a cada grupo microbiano, así por ejemplo, los virus y hongos fitopatógenos son más resistentes a elevadas temperaturas que las bacterias Fitopatógenas (figura 3). Este mismo patrón se ha comprobado de residuos vegetales. Los patógenos humanos y animales presentan escasa viabilidad prolongada frente a elevadas temperaturas. Por estas razones, para asegurar la eliminación de patógenos, no solo es necesario alcanzar altas temperaturas durante el proceso, sino que es imprescindible que sus niveles se prolonguen cierto tiempo. Así por ejemplo se recomienda que al menos se alcancen 55°C durante un mínimo de tres días<sup>26</sup>.

**Figura 3.** Supervivencia de patógenos durante el proceso de compostaje. Tomado de Moreno, 2008<sup>26</sup>.



<sup>26</sup> Moreno, Joaquín. Op. Cit. 119

### **3.3.4 SISTEMA DE COMPOSTAJE**

Los sistemas abiertos son los más tradicionales, donde los sustratos o subproductos a compostar son expuestos al aire ya sea bajo libre exposición o bajo cubiertas. Entre estos tenemos:

#### **3.3.4.1 Sistema de pilas o hileras con volteo**

La mezcla de materiales a compostar se coloca en hileras o pilas de sección triangular o trapezoidal. La forma y relación altura/anchura de la pila dependerá del ángulo estático propio del material a tratar, si es un material que se entrelaza bien y tiene estructura se podrá alcanzar mayor altura con una base concreta, pero si el material crece de estructura, el triángulo de la sección de la pila será muy bajo para la misma anchura de la base. Estas estructuras suelen tener una base de entre 3 y 4 metros como máximo y una altura de unos 2-2,5 metros y una longitud de unos pocos a varias decenas de metros<sup>27</sup>.

Para la elección del tamaño de la pila ha de tenerse en cuenta la proporción de materiales fácilmente degradables presentes en el residuo (materia lábil o volátil). La primera marcará la tasa de consumo de oxígeno una vez que el proceso esté en marcha y la segunda la capacidad de reposición de oxígeno a través de los poros del propio material descomposición, así como la distribución del calor generado en la fermentación <sup>28</sup>.

El volteo de hilera es el que tradicional y convencionalmente se ha asociado con el compostaje. El método volteo se aplica al método utilizado para la aireación. El volteo promueve la aireación y también asegura la uniformidad de la descomposición, mediante la exposición en un momento u otro de todo el material de compostaje particularmente en la zona interior activa de la pila. El volteo también sirve para reducir el tamaño de partícula de algunos materiales. Una ventaja es la pérdida de agua durante el proceso de compostaje<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> CORTES, Sandra. Op. Cit. 29

<sup>28</sup> Ibíd, p.155- 156.



Planta de compostaje ingenio MAYAGUEZ S.A. Sistema abierto. B) Pilas o hileras de volteo. A) volteo Mecánico (*Backus*) con aplicación de vinaza. Fuente (autor)



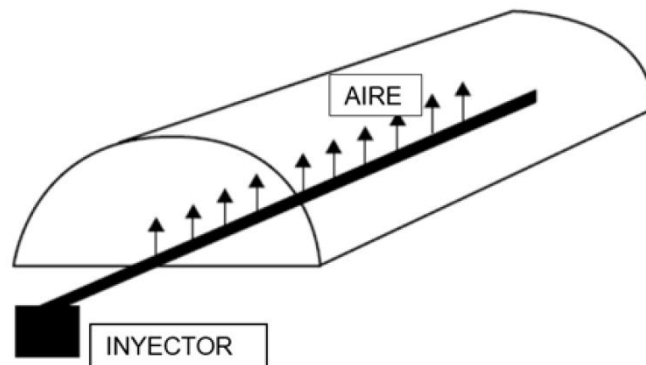
La planta de compostaje del ingenio Mayagüez S.A está dividida por tres invernaderos, los cuales están conformados por 20 módulos, cada módulo está compuesto por 2 pilas. Estas pilas tienen una forma cónica que cuenta con una altura entre 1.8 - 2 metros y de anchura entre 2,5 – 3 metros aproximadamente. Para la aireación de las pilas utilizan el sistema de hileras, mediante el uso de maquina conocida como *Backhus* (Figura 4 A-B), el cual es operada por personal calificado, y tienen la responsabilidad del volteo diario de las respectivas pilas (Comunicación personal, 2015).

### 3.3.2.1 Sistema de pilas estáticas aireadas

En este sistema se colocan los materiales sobre un conjunto de tubos perforados, de 10,2 a 15,2 cm (de diámetro), son conectados a un sistema que aspira (*Beltville*) o insufla (*sistema Rutgers*) aire a través de la pila (figura 5). La aireación forzada suministra O<sub>2</sub>, enfría la pila y elimina el vapor de agua, CO<sub>2</sub> y otros productos de descomposición. Una vez que se constituye la pila, no se toca, en general, hasta que la etapa activa de compostaje se haya completado. La altura de las pilas oscila entre 3 – 4 metros, viniendo limitada por el equipo que forma las pilas y por el peso de los materiales que se podrían compactar en su porción inferior. La anchura y la longitud son muy variables dependiendo de la configuración de la instalación<sup>29</sup>.

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p.156.

**Figura 5.** Pila estática con aireación. Tomado de Bohórquez, 2013.



### **3.3.5 PARAMETROS IMPORTANTES EN LA CALIDAD DE UN COMPOST**

#### **3.3.5.1 Humedad**

Es un factor limitante del proceso de compostaje. Teóricamente, una descomposición aeróbica puede realizarse entre unos valores de humedad del 30-70%, siempre que se pueda asegurar una buena aireación, que dependerá tanto del método empleado para ello como de la porosidad del residuo a compostar. En la práctica, se debe evitar una humedad superior al 60% porque el agua desplazaría el aire del espacio entre las partículas del residuo y el proceso viraría hacia reacciones anaerobias. Por otra parte, si la humedad baja del 40%, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retrasa. Por ello un intervalo entre el 40-60% es el adecuado para la mayoría de residuos a compostar.” Se expresa como el contenido de agua con relación al peso seco, g de agua/100g peso seco<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> BOHÓRQUEZ, Alexander. Op. Cit 23.

<sup>31</sup> SOLANS, Xavier; ALONSO, Rosa y GADEA, Enrique. Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: Riesgos higiénicos. Madrid, España: Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo, 2008. p.7.

### **3.3.5.2 pH**

Este parámetro ha sido considerado como indicador de la evolución del proceso de compostaje. En forma general durante el compostaje, el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y a medida que el proceso avanza, el valor de pH va aumentando gradualmente hasta valores constantes que oscilan entre 6,5 y 8,5, dependiendo del material. El pH tiene una incidencia directa sobre la disponibilidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, tanto en tiempo como en forma y además influye en el valor de la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo valores adecuados deben estar próximos a la neutralidad o ligeramente ácidos <sup>32</sup>.

### **3.3.5.3 Conductividad eléctrica (C.E)**

La conductividad eléctrica no proporciona información específica sobre las clases de sales presentes, pero es un excelente indicador de la presencia de sales solubles que existen en el compost. Los altos contenidos de sales pueden repercutir directamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo general del cultivo, todo dependiendo de la tolerancia de los cultivos a la salinidad, del tipo de suelo y de las pautas de riego<sup>32</sup>.

Los efectos del aporte de las sales al suelo, debido a enmiendas orgánicas, tienen carácter acumulativo si las sales son pocas solubles o si el suelo tiene drenaje deficiente. Por ejemplo la acumulación de sales de sodio pueden tener consecuencia sobre la estructura del suelo y producir un deterioro importante sobre las propiedades físicas de los suelos<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup>Ibid, p. 290.

### 3.3.5.5 Temperatura

La temperatura varía de acuerdo a la actividad metabólica de los microorganismos y está condicionada por la humedad y la aireación. De acuerdo a la temperatura el proceso de compostaje ocurre en 4 etapas: Mesófila (< de 40 °C), Termófila (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 <sup>32</sup>.

### 3.3.6 VINAZA

La Vinaza es el residuo de la industria alcoholera. Resulta al separar el alcohol del mosto fermentado por medio de un proceso de destilación. Contiene alrededor del 93% de agua, la cual por evaporación se lleva la vinaza diluida de un 6% de sólidos hasta una concentración del 60%. Es muy rica en potasio y cantidades apreciables de otros elementos esenciales para la nutrición de las plantas, como: Calcio, Magnesio y sulfatos.

Puesto que su origen es la planta de caña, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales, que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, glicerol, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras y azúcares en proporciones variables en función de la variedad y época de cultivo y de las eficiencias de los procesos de fermentación y destilación. Algunos de estos compuestos son los causantes del color café oscuro de la vinaza, considerando que es poco probable la adición de agentes sintéticos a la vinaza puede considerarse que la estructura de esos compuestos puede asemejarse a la de la Materia Orgánica Natural (MON) que da color al agua y que por tanto es potencialmente removible por coagulación<sup>33</sup>. En la tabla 1 se presentan las características fisicoquímicas de las vinazas obtenidas en Mayagüez S.A.

---

<sup>33</sup> GARCÍA, O. A y ROJAS C. A. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. 2005. Nota Técnica Técnicaña. Vol. 9(17). p.13

**Tabla 1.** Composición fisicoquímica de la vinaza.

Densidad g/c.c	pH	C.E (ds/m)	ELEMENTOS (g/l)											
			Solidos totales	C.O	N <sub>T</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	Fe	Na	Mn	C/N
1.135	4.19	40.00	303.0	92.4	7.09	1.345	36.1	6.86	5.62	10.90	0.0826	0.829	0.0119	13.00

Fuente. Laboratorio de suelos del Ingenio Mayagüez S.A, 2015.

### 3.3.6.1 Tratamientos aplicados a la vinaza

Se han realizado tratamientos biológicos a la vinaza para reducción de los agentes contaminantes. El principal tratamiento es la digestión anaeróbica para producir biogás, pero una de las limitaciones es la necesidad de realizar altas diluciones debido a los componentes antimicrobianos, los cuales permanecen en el efluente después del tratamiento biológico de manera que se hace necesario el tratamiento fisicoquímico para completar la remoción de esos compuestos recalcitrantes<sup>34</sup>. Otros tratamientos han estado focalizados en la remoción del color de la vinaza, como es el caso de la utilización de microorganismos como los mohos de la podredumbre blanca (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Pleurotus* spp), los cuales se han encontrado capaces de degradar compuestos tipo melanoidinas debido a los complejos enzimáticos, donde enzimas tipo lacasas serían las responsables de oxidar este tipo de compuestos con grupos funcionales tipo fenoles. Estos procesos también incluyen eficiencias variables en la decoloración, dificultad operativa y la formación ocasional de nuevos contaminantes<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> BECERRA, Nubia. Clarificación de vinazas de caña de azúcar por tratamiento fisicoquímico y filtración con membranas. Tesis: Magíster en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá D.C., Colombia 2014. p.124.

## 4. METODOLOGIA

A continuación se describen los procedimientos para la determinación de la calidad de las materias primas, material en proceso y compost terminado, mediante análisis microbiológicos y fisicoquímicos siguiendo los parámetros estipulados por la NTC 5167 de 2011. En este apartado también se describe la metodología para la evaluación del crecimiento que presentan *Aspergillus niger* y *Trichoderma harzianum* sobre la vinaza. El desarrollo del trabajo se realizó dentro de las actividades diarias en el laboratorio de microbiología de la planta de compostaje del ingenio Mayagüez S.A.

### 4.1 ANALISIS FISICOQUIMICOS

Las muestras para determinar las variables fisicoquímicas son obtenidas a partir de la de diferentes puntos de cada pila, según lo estipulado por la norma vigente. La siguiente metodología se realizó teniendo en cuenta procedimientos establecidos por la NTC 5167 que determina la calidad de abonos o fertilizantes como acondicionadores para suelos.

#### 4.1.1 Determinación de la humedad

Se pesaron 10 g de muestra. Las muestras fueron secadas en el horno a 70°C durante 24 horas. Luego se dejó enfriar en un desecador hasta peso constante. Para la determinación del porcentaje de humedad de utilizo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

#### 4.1.2 Cuantificación de cenizas

Se pesaron 5 g de las muestras de compost en crisoles de porcelana. Luego se colocaron los crisoles en la mufla a una temperatura de 600°C durante 3 horas. Al cabo de este tiempo se sacaron y se dejaron enfriar en un desecador. Se registró su peso hasta peso constante. Para el cálculo del porcentaje de cenizas se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{[\text{peso final} \times 100]}{\text{Peso inicial}} \frac{[100 - \% \text{ humedad}]}{100}$$

---

<sup>35</sup> NTC 5167 .Op. Cit 22 -23.

### **4.1.3 Determinación de pH y conductividad eléctrica**

Se pesaron 10 gr de muestra (materia prima, material en proceso y producto terminado), se mezcló en 50 ml de agua destilada (relación 1:5, p: v), se homogenizó la muestra. Posteriormente se tomó el pH y la conductividad eléctrica una vez estabilizada la lectura.

### **4.1.2 Medición de la temperatura**

La medición se realizó en cinco puntos de las pilas, a diferentes profundidades, mediante un termómetro digital. Estas lecturas fueron promediadas.

## **4.2 ANALISIS MICROBIOLÓGICOS**

Se tomaron seis pilas (5, 6, 28, 29, 32 y 33), las cuales se conformaron el 3 de agosto del 2015 (fecha de inicio de la pasantía). Estas pilas presentaron una altura entre 1,8 a 2 metros y con una anchura ente 2,5 – 3m. A cada pila se le realizaron muestreos diarios, como lo indica la NTC – ISO 8633 (2001), para los respectivos análisis microbiológicos realizados durante el proceso. La metodología a continuación descrita se llevó a cabo mediante los protocolos establecidos por la NTC 5167 del 2011 y por normas internas del laboratorio de la planta de compostaje.

### **4.2.1 Enriquecimiento, aislamiento y detección de *Salmonella* sp.**

Se pesaron 25g de muestra (materia prima, material en proceso y producto terminado) y se introdujeron en un erlenmeyer con 225ml de caldo lactosado haciendo una suspensión. Se llevó a incubación a 37°C durante 48 h. Transcurrido el tiempo, se tomó 1ml de esta solución y se llevó a los tubos con caldo tetrionate. Se incubo 37°C durante 24 horas. Posteriormente se tomó inóculo de cada uno los tubos con el caldo y se sembró por agotamiento en agar XLD. Se incubo a 37°C durante 24 h<sup>36</sup>.

Lectura: Colonias de color rojo con el centro negro debido a la producción de H<sub>2</sub>S en agar XLD. Los resultados se reportaron como ausencia *Salmonella* en 25g de muestra.

---

<sup>36</sup> NTC 5167 .Op. Cit 30

#### **4.2.2 Recuento total de microorganismos mesófilos facultativos, enterobacterias, bacterias sulfito reductoras, mohos y levaduras.**

Se pesaron 10g de muestra (materia prima y producto terminado), luego se suspendieron en 90ml de Agua Peptonada Estéril (A.P.E) y se homogenizaron durante 30 segundos. Posteriormente se tomó una alícuota de 1ml y se llevó a un tubo con 9ml de Agua Peptonada Estéril (A.P.E), para realizar diluciones seriadas correspondientes a cada muestra. Se sembró 1ml por profundidad en agar Plate Count, agar Violeta Rojo y Bilis (VRB), agar Sulfito Polimixina Sulfadiazina (SPS) y agar Sabouraud. Se incubó a 37°C para bacterias mesófilas, enterobacterias, bacterias sulfato reductoras durante 24 horas y cinco días a 25 °C para mohos y levaduras<sup>37</sup>.

Lectura: placas de una misma dilución que presente entre 30 y 300 colonias.

Agar VRB: (+) Rojas, con halo de precipitación rojizo.

Agar SPS: (+) Conteo de colonias negras.

Agar Saboraud: Conteo de morfologías de mohos y levaduras

#### **4.2.3 Detección de huevos de helminto viables**

Se pesaron 50g de muestra (producto terminado), en un erlenmeyer de 1000 ml, luego se adicionaron 150 ml de buffer fosfato pH 7 y 150 ml de Tween 80 al 2%. Se homogenizó la muestra vigorosamente. Utilizando un embudo con triple capa de gasa, se recogió el filtrado en erlenmeyer de 1000 ml y se dejó la preparación decantar durante 24 horas. Pasado el tiempo se eliminó el sobrenadante y se recogió el sedimento. Se adicionaron 150 ml de solución Teleman y se centrifugó a 3000 rpm durante tres minutos. Se eliminó el sobrenadante.

En un portaobjetos se adicionó una gota de solución salina al 0.85% y sobre cada gota se adiciono una pequeña fracción del precipitado obtenido, luego se observó al microscopio en 10 y 40X<sup>37</sup>.

Lectura: conteo de huevos de helminto ausente en los 50g de muestra. NTC 5167 de 2011: (<1 en 4g de compost).

---

<sup>37</sup> NTC 5167 .Op. Cit 32



### 4.3 EVALUACION DE LA VINAZA A DIFERENTES CONCENTRACIONES.

#### 4.3.1 Recolección de la vinaza de caña de azúcar

La vinaza se obtuvo de la destilería del ingenio Mayagüez localizada en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca, con una composición química como se presenta en la Tabla 2. Estas muestras fueron tomadas de la laguna de almacenamiento de la planta de compostaje y se recolectaron en recipientes de plástico de 1000ml. Se almacenaron en refrigeración a 4°C para los respectivos análisis.

**Tabla 2.** Composición química de la vinaza utilizada.

°Brix	DQO mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	Densidad g/c.c	pH	C.E. (ds/m)	Solidos totales	ELEMENTOS (g/L)				
							C.O.	N <sub>T</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C/N
23,20	210,760	196,950	1,100	4,08	39,60	236,0	66,3	4,63	0,762	25,7	14,30

Fuente: Laboratorio de suelos del Ingenio Mayagüez S.A, 2015.

Valores de referencia: Ver anexo 3

#### 4.3.2 Obtención del inóculo

Las cepas de *Aspergillus niger* y *Trichoderma harzianum* fueron obtenidas del laboratorio de la planta de compostaje del ingenio Mayagüez S.A, las cuales estaban conservadas por el método de criopreservación. Para su reactivación se realizaron siembras en agar Sabouraud y se incubaron a 25°C durante 5 días.

Para la obtención del inóculo, se preparó una suspensión madre de conidios a partir del raspado superficial de tres cajas de agar Sabouraud con el hongo esporulado. Los conidios se suspendieron en 90ml de A.P.E, esta suspensión madre se homogenizó durante 10 segundos, luego se realizaron diluciones seriadas hasta 10<sup>-2</sup> y se halló la concentración inicial de los mohos a 5.4x10<sup>4</sup> conidios de *Aspergillus niger*/μl y 5.2 x10<sup>4</sup> conidios *Trichoderma harzianum* /μl, mediante el método de recuento en cámara de Neubauer.

### **4.3.3 Evaluación del crecimiento en medios solidos**

Para la evaluación de los hongos se prepararon medios sólidos con diferentes concentraciones de vinaza como se describe en la tabla 3. Los medios de cultivos sólidos se elaboraron en erlenmeyers de 250ml; los cuales se mezclaron 1g de agar en 50 ml de vinazas diluida con agua destilada. Estos medios se llevaron al autoclave y se esterilizaron a 121°C y 15 psi. Se enfriaron y luego se depositaron 20 ml en cajas de Petri. Posteriormente, se inocularon 0.1ml de la suspensión de conidios en el centro de la caja para cada hongo respectivamente. Los medios se incubaron durante cinco días a 30 °C, midiéndose el diámetro de la colonia diariamente.

## 5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla 4.** Cronograma de actividades realizadas en la planta de compostaje del ingenio MAYAGUEZ S.A. Fuente. (Autor)

ACTIVIDADES	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE		
	Semana				Semana				Semana				Semana				Semana		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>ANALISIS MICROBIOLÓGICOS</b>																			
Materia prima: Vinaza y cachaza	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Materia en proceso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Producto terminado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Recuento de UFC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<b>ANALISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>																			
Materia prima: Vinaza y cachaza	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Material en proceso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Producto terminado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Preparación de medios de cultivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Limpieza y desinfección del laboratorio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<b>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: Evaluación de la vinaza mediante el crecimiento de <i>Aspergillus niger</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>.</b>																			
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Recolección de la muestra								X											
Obtención del inóculo									X	X									
Análisis en medios sólidos											X	X	X						
Resultados y análisis													X	X	X				
Entrega del trabajo escrito																X	X		
Sustentación del trabajo																		X	

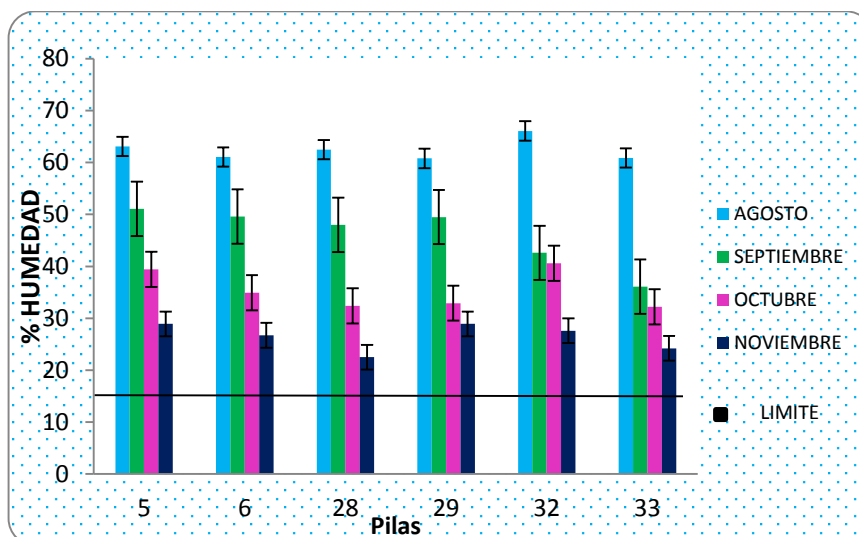
## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Análisis fisicoquímicos del proceso de compostaje

Las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje se compararon con los parámetros establecidos de la norma técnica colombiana (NTC) 5167 de 2011, la cual establece requisitos para la calidad del producto final y este pueda ser utilizado como enmienda orgánica para los suelos (Ver anexo 3). Los datos fisicoquímicos obtenidos fueron promediados por mes.

#### Humedad

**Figura 6.** Porcentaje de humedad durante el proceso de compostaje.



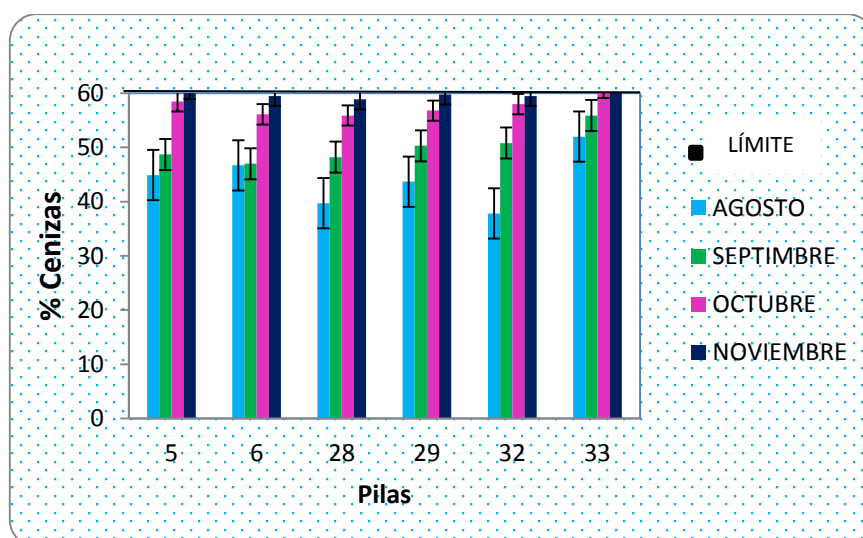
En cuanto al porcentaje de humedad evaluado para las pilas se observó una tendencia decreciente a medida que transcurrió el proceso de compostaje. Esto concuerda con lo reportado por Cifuentes en el 2011, donde el producto terminado mostró que la humedad más cercana a 35%, fueron a los 59 y 90 días del proceso de compostaje<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> CIFUENTES, Rolando; de LEON, Roberto y PORRES, Carlos. Producción de abono orgánico a partir de cachaza y tallos de caña de azúcar recuperados de las carreteras. En: Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 2011. No. 23. p. 8–17.

En la figura 6 se puede observar que el porcentaje de humedad, para las pilas en el mes de noviembre está en un rango del 25% aproximadamente, el cual está por encima del porcentaje permitido por la NTC 5167 de 2011 que es de mínimo 15%, para que sea un producto usado como abono o fertilizante de suelos; sin embargo en Mayagüez S.A, se utiliza con este porcentaje de humedad del compost final, por requerimiento del departamento de campo, debido a que los equipos de aplicación producen apilamiento si esta menor al 25% .

## Cenizas

**Figura 7.** Porcentaje de cenizas durante el proceso de compostaje.



El porcentaje de cenizas se incrementó con el tiempo a medida que el proceso de compostaje transcurrió. Según Stofella y Kahn en el 2005<sup>43</sup> indica que el porcentaje de cenizas aumenta durante el proceso de compostaje, debido a las pérdidas de la fracción orgánica o sólidos volátiles en forma de CO<sub>2</sub>, presentando mayor contenido de la fracción inorgánica, esto ocurre durante la descomposición de la materia orgánica cuando el material se mineraliza, es decir se forman sustancias inorgánicas como las sales.

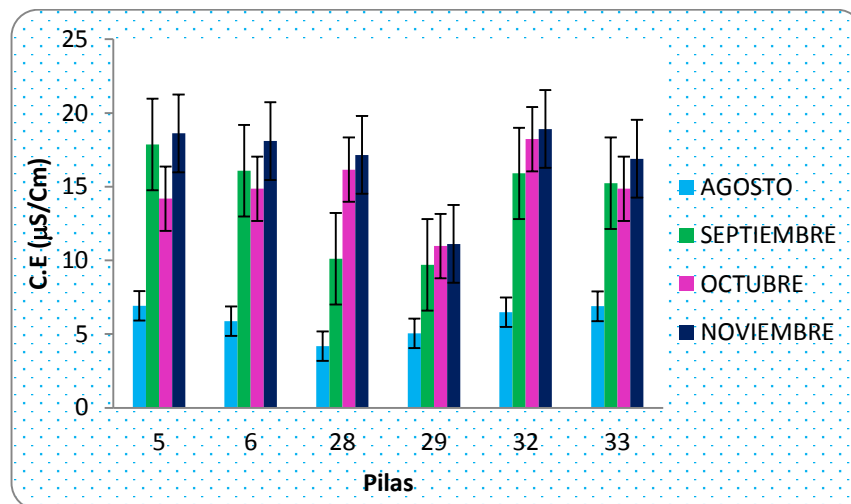
<sup>43</sup> Stofella P. J, Kahn B. A. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Publicado por Mundi-Prensa Libros. Madrid Barcelona. 2005. P. 379.

El porcentaje de cenizas evaluado para las pilas (5, 6, 28, 29, 32 y 33) se encuentran en un rango del 60% aproximadamente. Este comportamiento concuerda con lo encontrado por Salamanca <sup>44</sup>, donde reporta valores de cenizas del 41 y 60% en compost comerciales. Altamirano y Cabrera<sup>45</sup> citan valores de 60% para el compost final.

Este parámetro evaluado, presenta un rango aceptable para ser clasificado como producto de buena calidad, según lo establecido por la NTC 5167 de 2011. (Ver anexo 3)

### Conductividad eléctrica

**Figura 8.** Conductividad eléctrica (C.E) durante el proceso de compostaje.



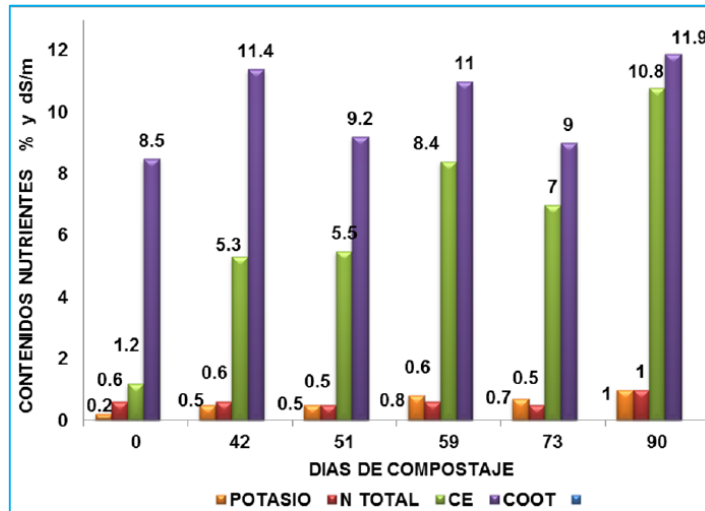
Analizando la variable C.E se observa que aumentó durante el proceso de compostaje, alcanzando un valor entre 1 y 1.8 dS/m en las pilas analizadas. Esta tendencia concuerda con el trabajo de Bohórquez <sup>46</sup>. (Ver figura 9).

<sup>44</sup>SALAMANCA, C. Efecto de las fuentes orgánicas obtenidas de los subproductos agroindustriales de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el plátano (*Musa spp.*) sobre la actividad microbiana y enzimática en el suelo. Tesis de grado magíster en ciencias agrarias con énfasis en suelos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2008. Pág. 63.

<sup>45</sup> ALTAMIRANO, M y CABRERA, C. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. En: Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 2006. vol. 9. No. 17 p.75-84

<sup>46</sup> Bohórquez, Alexander. Op.Cit. 90

**Figura 9.** Dinámica de algunas variables durante el ensayo. Tomado de Bohórquez.



Esta tendencia es debida a los procesos de degradación y mineralización de los materiales orgánicos, que a medida que transcurre el proceso, van liberando compuestos (Cationes como Ca, Mg, K, Na y aniones como Bicarbonatos, Cl, Sulfatos, Carbonatos y Nitratos) responsables de la salinidad en la solución del compost. A medida que el proceso de compostaje avanza, y si las pérdidas no son excesivas, estos elementos se van concentrando en la solución del compost aumentando los valores de C.E <sup>47</sup>.

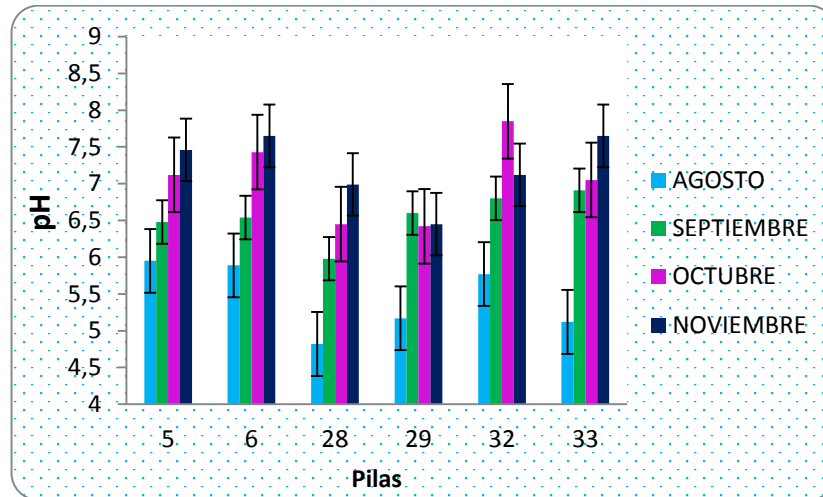
La norma para abonos orgánicos, como acondicionadores de suelos no estipula un valor de C.E, sin embargo Moreno, 2008<sup>48</sup>, indica que aunque dependerá de las necesidades de la planta a cultivar, se recomienda mantener valores de la C.E. por debajo de 1.50 dS/cm. porque cuando se presenta una cantidad excesiva de sales en el suelo impide la absorción del agua hacia la planta y modifica la adsorción de nutrientes.

<sup>47</sup> Bohórquez, Alexander. Op.Cit. 91

<sup>48</sup> Ibíd, p. 97.

## pH

**Figura 10.** Determinación del pH durante el proceso de compostaje.



Respecto al pH, presentó una variación de ácido a neutro, en función los días del proceso. Epstein en el 2011<sup>49</sup>, señaló que el pH es un indicador fisicoquímico que varía de acuerdo al grado de humificación.

Cuando las poblaciones de estos microorganismos consumen los compuestos ácidos, el pH del medio o de la pila sube y se estabiliza nuevamente. Solans, Alonso y Gadea<sup>50</sup> concuerdan que al inicio del compostaje se produce una acidificación de la pila pero luego, a lo largo del proceso, se produce una progresiva alcalinización.

El valor de pH final para las pilas 5, 6, 28, 32 y 33 se encuentran dentro de los límites permisibles por la norma (NTC 5167), que establece los requisitos para la producción de enmiendas de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos, el valor de la norma para el pH es de 4 a 9, lo que lo hace ideal para ser aplicado en cualquier tipo de suelo. (Ver anexo 3)

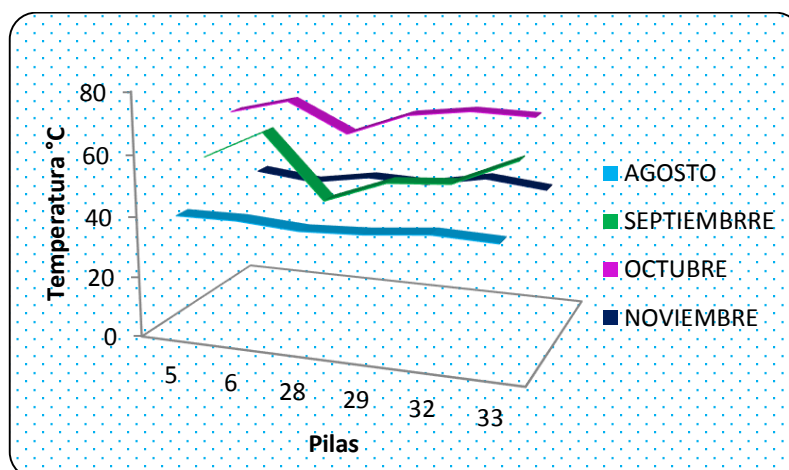
<sup>49</sup> EPSTEIN, Elliot. Basic concepts of composting. Industrial composting. Environmental Engineering and facilities Management. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. ISBN – 13:978-1-4398-4532-5.

<sup>50</sup> SOLANS, X; ALONSO, R y GADEA, E. Op. Cit 7



## Temperatura

**Figura 11.** Determinación de la temperatura durante el proceso de compostaje.



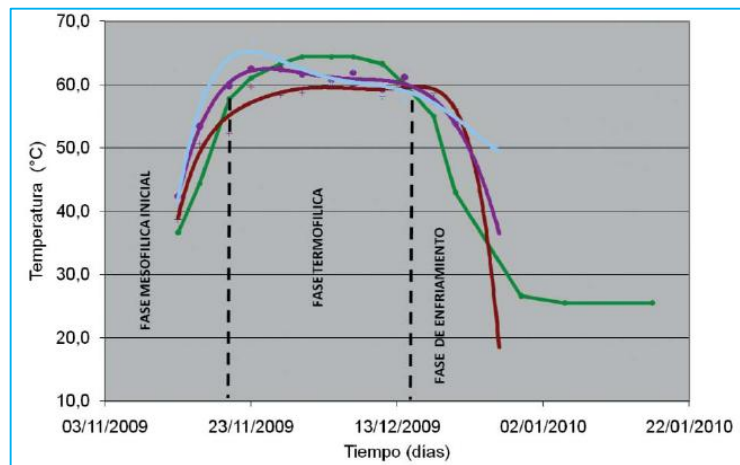
En cuanto a la temperatura, al inicio de proceso presentó un rango de 40°C aproximadamente para todas las pilas, la cual fue aumentando en el transcurso de los días hasta presentar una temperatura de 70°C en el mes de octubre, que posteriormente fue disminuyendo hasta obtener la temperatura ambiente. Este comportamiento concuerda con el trabajo de Gordillo, 2011<sup>51</sup> evaluó el proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) dos veces por semana. Al iniciar el proceso los tratamientos, presentaron una temperatura menor a 45° C, cumpliéndose la primera etapa mesófila. (Ver figura 12).

Transcurridas las tres primeras semanas de proceso todos los tratamientos incrementaron su temperatura por encima de los 60° C, esta constituyó la etapa termófila. Luego, la temperatura presentó un descenso al finalizar dicha etapa para entrar a la última fase denominada “mesófila” o “enfriamiento”. Moreno en el 2008, señaló que cuando las temperaturas del sustrato descienden a valores próximos a la temperatura ambiente es porque el material se acerca a la madurez<sup>52</sup>.

<sup>51</sup> GORDILLO, F. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). Vol. 37. No 2. 2011. p.11.

<sup>52</sup> Ibíd, p. 38

**Figura 12.** Variación de la temperatura a través del tiempo. Tomado de Gordillo, 2011.



## 6.2 Análisis microbiológicos del proceso de compostaje.

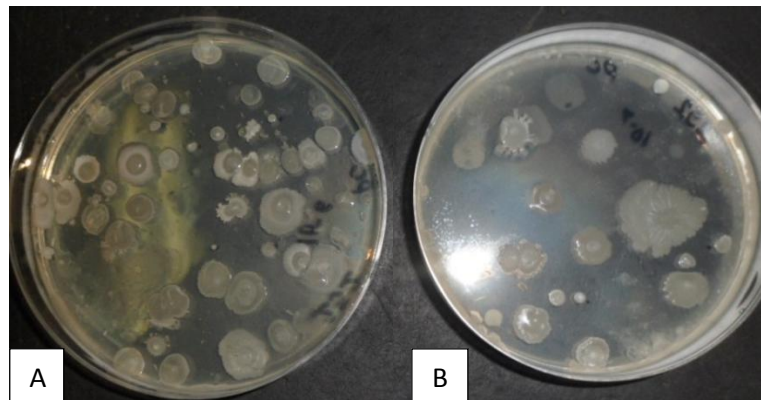
**Tabla 4.** Datos aproximados de recuentos microbiológicos durante el proceso de compostaje.

MESES	No pila	Meso UFC/g	Termo UFC/g	Mohos Cel/g	Lev Cel/g	BSR UFC/g	<i>Salmonella spp</i>	C.totales UFC/g	Huevos de helminto
Agosto	5	$3 \times 10^7$	----	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^3$	$3 \times 10^2$	Ausente en 25g muestra	<1000	<1Hh/4g de muestra seca
	6	$2 \times 10^7$	----	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^2$			
	28	$2 \times 10^8$	----	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$3 \times 10^3$			
	29	$1 \times 10^8$	----	$1 \times 10^1$	$4 \times 10^4$	$2 \times 10^3$			
	32	$3 \times 10^8$	----	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^2$			
	33	$3 \times 10^8$	----	$2 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^2$			
Septiembre	5	----	$3 \times 10^5$	$2 \times 10^3$	$1 \times 10^1$	$< 10^2$			
	6	----	$2 \times 10^7$	$1 \times 10^2$	$6 \times 10^2$	$4 \times 10^3$			
	28	----	$2 \times 10^5$	$3 \times 10^2$	$8 \times 10^2$	$> 10^2$			
	29	----	$1 \times 10^8$	$2 \times 10^3$	$4 \times 10^1$	$> 10^2$			
	32	----	$3 \times 10^8$	$3 \times 10^2$	$2 \times 10^1$	$1 \times 10^2$			
	33	----	$3 \times 10^8$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$3 \times 10^2$			
Octubre	5	----	$3 \times 10^7$	$< 10$	$< 10$	$3 \times 10^2$			
	6	----	$3 \times 10^7$	$< 10$	$< 10$	$> 10$			
	28	----	$2 \times 10^8$	$1 \times 10^2$	$< 10$	$5 \times 10^1$			
	29	----	$6 \times 10^8$	$< 10$	$< 10$	$2 \times 10^2$			
	32	----	$5 \times 10^8$	$< 10$	$< 10$	$< 10^2$			
	33	----	$9 \times 10^8$	$1 \times 10^1$	$< 10$	$1 \times 10^2$			
Noviembre	5	$1 \times 10^7$	----	$2 \times 10^1$	$< 10$	$< 10$			
	6	$1 \times 10^5$	----	$3 \times 10^1$	$< 10$	$< 10$			
	28	$6 \times 10^5$	----	$1 \times 10^2$	$< 10$	$< 10$			
	29	$8 \times 10^7$	----	$2 \times 10^2$	$< 10$	$< 10$			

---- = No se realizó aislamiento

Respecto a los resultados de los análisis microbiológicos durante el proceso de compostaje para las pilas evaluadas (tabla 5), se observa que la población de bacterias aerobias mesófilas presentan un recuento inicial mayor, con respecto al recuento del producto final. Estas muestras analizadas presentan temperaturas de 38- 42°C, parámetro que favorece el crecimiento de bacterias mesófilas.

**Figura 13.** Crecimiento de bacterias mesófilas en agar Plate Count A) crecimiento inicial del proceso. B) Recuento al producto final del proceso. Fuente, (autor).



En cuanto a la temperatura, las bacterias mesófilas son favorecidas en la fase inicial, debido a que su actividad metabólica genera altas temperaturas para favorecer a las bacterias termófilas, en la fase de estabilización, las bacterias mesófilas se encuentran en menor proporción<sup>53</sup>.

El recuento de bacterias termófilas se encuentra en mayor crecimiento en el mes de octubre (día 60) con respecto al mes de septiembre (día 30) para las pilas analizadas, Este recuento coincide con los resultados obtenidos por Sánchez<sup>54</sup>, donde analizó durante la etapa termófila del proceso de compostaje, bacterias termófilas obteniendo un recuento de  $1,90 \times 10^5$  a  $1,20 \times 10^7$  UFC/g compost.

<sup>53</sup> Sánchez, Tibayde, Op cit. 3.

<sup>54</sup>. Ibid, p. 2.

En cuanto al análisis de patógenos, el recuento para *Salmonella* sp, es ausente en 25g de compost, <1000 ufc/g compost para el recuento de bacterias entéricas y <1Hh/4g de muestra seca para el análisis de huevos de helmintos. Estos resultados indican que el producto final cumple con los requisitos estipulados por la NTC 5167 de 2011, asegurando la calidad microbiológica al usuario sin que se corra el riesgo de afectar el cultivo o el suelo donde va a ser aplicado.

Los análisis microbiológicos de patógenos como, bacterias entéricas, *Salmonella* sp y huevos de helmintos., permiten ver que su participación, queda reducida al inicio de la etapa termófila (45°C- 70°C), ya que estos patógenos son eliminados por completo al igual que la mayoría de mohos y aerobios mesófilos. Epstein<sup>55</sup> indica que el *E.coli*, *Salmonella* sp y *Listeria* sp en el compost, después de tres días a 55°C en análisis microbiológicos no presentan crecimiento. Estos recuentos reportados pueden indicar que el proceso de compostaje en el ingenio Mayagüez S.A, es exitoso al eliminar patógenos, generando así un producto inocuo, sin riesgo agrícola

Respecto a los análisis de hongos y levaduras en el proceso de compostaje se puede evidenciar en la figura 16, donde se observan los diferentes tipos de hongos con morfologías macroscópicas características a los géneros *Aspergillus* sp y *Penicillium* sp que actúan en las fases del proceso. Un estudio realizado por Escobar<sup>56</sup>, sobre el análisis microbiano de compostaje reportó, que la población de hongos *Aspergillus niger*, fue el más predominante, seguido por: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus rapens*, *Rhizopus stolonifer*, *Mucor*, *Fusarium*, *Aspergillus fumigatus*, *Varicosporium*. Al respecto, Atlas y Bartha<sup>57</sup>, afirman que las especies más comúnmente encontradas, de hongos celulolíticos, en los materiales de los compost, son los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma*.

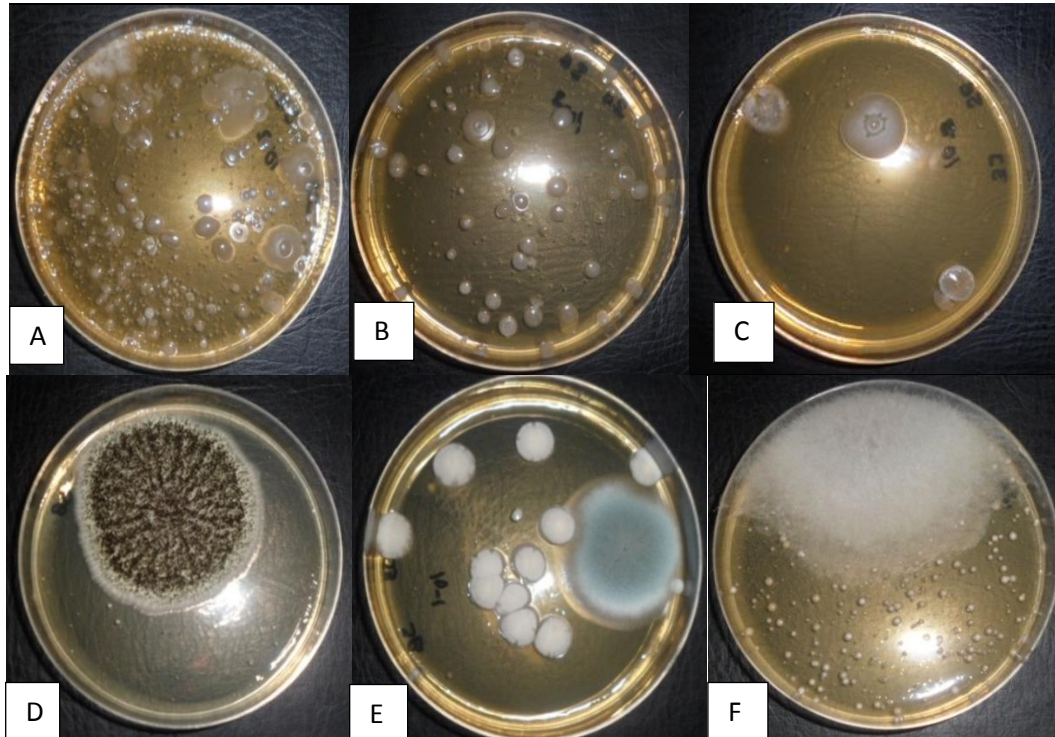
---

<sup>55</sup> Epstein, Op. Cit 243

<sup>56</sup> ESCOBAR Natalia; MORA Jairo y ROMERO Jaime. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. vol.16 no.1 2012. ISSN 0123-3068

<sup>57</sup> ATLAS, R. y BARTHA, L. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación, S.A. Madrid. 2005 p.677

**Figura 14.** Crecimiento de mohos y levaduras en agar Saboraud. A) B), C). Recuento de levaduras durante el proceso de compostaje. D), E), F) Hongos aislados durante el proceso.



Es importante determinar que los hongos tienen una gran habilidad de descomponer residuos orgánicos como la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, siendo activos en la última fase del proceso de compostaje. Al contrario, las bacterias también mantienen una habilidad celulolítica pero, en menor recuento en comparación con los hongos<sup>58</sup>.

El aislamiento de levaduras obtenidas durante el proceso de compostaje, presentaron recuentos entre  $1 \times 10^1$  y  $3 \times 10^2$  UFC/g, en el mes de agosto y septiembre; estas poblaciones aisladas pueden ser provenientes en su mayoría del inóculo que se adiciona en los primeros meses del proceso, que básicamente se compone de levaduras y bacterias ácidas lácticas.

### **6.3 Evaluación de la vinaza a diferentes concentraciones.**

El crecimiento de los mohos utilizados en medios sólidos, se evaluó a partir del primer día de la inoculación, periodo en el cual el crecimiento del micelio se presentó en la mayoría de las cajas de Petri. Durante los 5 días, el crecimiento de micelio se determinó cada 24 horas.

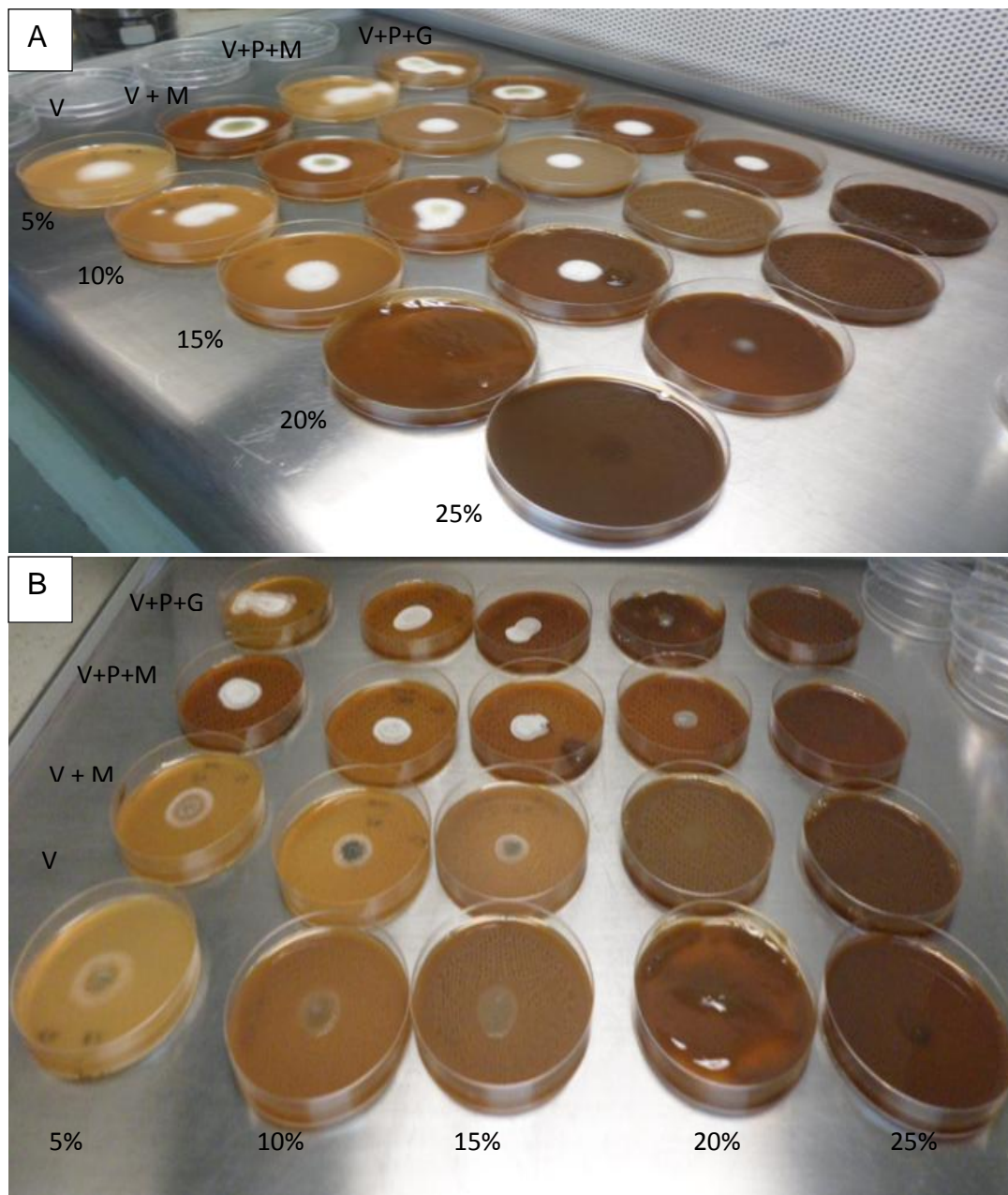
**Tabla 5.** Crecimiento de los hongos en medios solidos con vinazas.

Medios	Porcentaje Porcentaje vinaza	DIAMETRO (cm)									
		<i>Aspergillus niger</i>					<i>Trichoderma harzianum</i>				
		Días					Días				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
V+P+G	5	3.9	7.7	>9	>9	>9	2.5	5.1	7.9	>9	>9
	10	3.4	5.2	7.3	9	>9	1.7	2.6	4.2	7.1	9
	15	2,2	3.9	5.1	7.3	8.8	1.5	3.3	4.8	6.3	7.5
	20	1.8	2.9	3.8	5.0	6.5	1.0	1.9	2.7	3.8	5.1
	25	1.1	2.3	3.4	5.1	6.6	X	X	0.8	1.5	2.1
	30	X	X	0.9	1.6	2.3	X	X	X	X	X
V+P+M	5	3.5	6.3	8.4	>9	>9	2.1	3.9	4.7	6	7.2
	10	2.9	3.7	4.7	6	7.1	1.4	2.3	3.1	4.6	5.8
	15	2.5	3.3	4.6	5.3	6.2	1.2	2	3.1	4.2	5.4
	20	1.7	2.4	3.7	4.5	5.7	0.9	1.5	2.2	2.9	3.6
	25	0.8	1.6	2.4	3.2	4	X	X	X	0.8	1.6
	30	X	X	0.8	1.4	2.5	X	X	X	X	X
V+M	5	2.6	3.7	4.6	5.8	6.9	1.7	2.6	3.5	4.7	5.5
	10	2.4	3.3	4.2	5.1	6.2	1.2	2.3	3.4	4.5	5.3
	15	1.9	2.6	3.3	4.2	5.1	1	1.9	3	4.1	5.2
	20	1.1	2.3	3.1	3.9	4.8	0.9	1.5	2.6	3.4	4.6
	25	0.8	1.3	2.1	3	3.9	X	X	X	X	0.7
	30	X	X	0.7	1.7	2.5	X	X	X	X	X
V	5	2.2	3.6	4.6	5.8	6.9	1	1.6	2.7	3.6	4.8
	10	2	3.2	4.5	5.4	6.3	0.7	1.3	2.1	3	4.1
	15	1.9	2.5	3.6	4.8	5.9	X	0.8	1.4	2	2.8
	20	1	2.2	3.4	4.6	5.3	X	X	X	0.9	1.8
	25	X	0.9	1.4	2	2.3	X	X	X	X	X
	30	X	X	X	X	0.7	X	X	X	X	X

V+P+G= vinaza+ peptona + Glucosa, V+P+M = Vinaza +peptona + miel B, V+M= Vinaza + Miel B, V= Vinaza, **X**= no presento crecimiento.

En la Tabla 5 se puede observar el diámetro del crecimiento micelial (9cm a 0.8cm) de los hongos en medios sólidos preparados con diferentes concentraciones (5, 10 15, 20, 25 y 30%) de vinaza. Se observa que en todas las concentraciones de vinaza para los medios suplementados con peptona, glucosa y miel B, se evidencio crecimiento de *Aspergillus niger* presentando mayor diámetro de la colonia en menor tiempo, en comparación con *Trichoderma harzianum* donde el desarrollo del micelio fue menor, y durante los 5 días de incubación en los medios suplementados, con 30% vinaza no presentó crecimiento.

**Figura 15.** Crecimiento inicial en diferentes concentraciones de vinaza A) *Aspergillus niger* B) *Trichoderma harzianum*. Fuente. (Autor).



V+P+G= vinaza+ peptona + glucosa, V+P+M = Vinaza +peptona + miel B, V+M= Vinaza + Miel B, V= Vinaza

Lo anterior se relaciona con estudios reportados por Mohammad., *et al*<sup>59</sup> donde evaluó la capacidad de degradación y decoloración sobre efluentes de destilerías por parte de los hongos *Aspergillus spp.*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus niveus* y *Aspergillus fumigatus*; en el cual obtuvo un promedio de decoloración del 69 – 75% junto con la reducción del 70 – 90% de DQO<sup>60</sup>; confirmando la capacidad de *A. niger* de utilizar ciertos componentes de la vinaza para su crecimiento.

Por otra parte, Baldiris, *et al*<sup>61</sup>, en su trabajo, encontró que la vinaza es un excelente sustrato, que presenta en su composición azúcares, nitrógeno y fósforo, que son nutrientes esenciales para el crecimiento de microorganismos. En su estudio evaluó la vinaza al 5% utilizada en diferentes tratamientos y obtuvo un efecto estimulante en el crecimiento de *Trichoderma viride* y *Schyzophyllum commune*, ya que no se necesitó adicionarle otros compuestos para que los hongos llevarán a cabo su metabolismo.

Según lo reportado por Wadt<sup>62</sup>, indica que los hongos absorben minerales como el potasio, fósforo, sodio y magnesio por el micelio y que son utilizados para su crecimiento; de esta manera los hongos utilizan minerales presentes en la vinaza disminuyendo el porcentaje de éstos lo que favorece la utilización de este residuo como sustrato para plantas.

Este estudio, permitió observar que la vinaza suministró nutrientes al medio de cultivo, los cuales favorecieron el crecimiento de *Aspergillus niger*, expresando mayor diámetro del micelio en todas las concentraciones de esta fuente; además permitió ver que en relación con *Trichoderma harzianum*; en presencia de vinaza a concentraciones de 25 y 30% en el medio de cultivo, fue posiblemente un factor de estrés por la presencia de algunos componentes como sales y compuestos fenólicos (ácido furámico, melanoidinas, ácido palmítico), que pudieron ejercer un efecto limitante en este hongo, puesto el tiempo de crecimiento fue mayor. Por ende, quien mejor logra adaptarse a esta fuente alterna es *Aspergillus niger*, porque puede tomar estos nutrientes y adquirir energía para su desarrollo, pudiendo ser un microorganismo útil en posteriores estudios de biodegradación de la vinaza.

---

<sup>60</sup> Mohammad, P; Azarmidokht, H y Fatollah, M. Application of response surface methodology for optimization of important parameters in decolorizing treated distillery wastewater using *Aspergillus Fumigatus*. Biodeterior, V 57, 2008.p.195-199.

<sup>61</sup> BALDIRIS, Luisa; LÓPEZ, E., Castillo, J y Caicedo, LD. Op. Cit. 4

<sup>62</sup> Wadt, L. C. Cultivo de *Pleurotus spp.* Em Vinhaça visando a produção de biomassa e exopolisacarídeos. Dissertation. University of São Paulo.



## 7. CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos (pH, C.E, Temperatura, % humedad, % cenizas) y microbiológicos (Mesófilos, Termófilos, Bacterias sulfito reductoras, coliformes totales, *Salmonella* sp, mohos y levaduras), caracterizados durante el proceso de compostaje, mostraron estar dentro del rango cumpliendo con los lineamientos legales vigentes nacionales (NTC 5167) e internos del laboratorio, asegurando así su calidad y permitiendo su aplicación como abono orgánico en los cultivos de caña del ingenio Mayagüez S.A.
- La vinaza evaluada en diferentes concentraciones, resultó ser un excelente medio de cultivo para el crecimiento de *Aspergillus niger* y *Trichoderma harzianum*, lo cual permite inferir un posible pretratamiento para su incorporación como sustrato compostable, mejorando la calidad del compost y permitiendo dar una respuesta al manejo de este residuo de la industria alcoholera.

## 8. RECOMENDACIONES

Al proceso de compostaje, incorporar microorganismos, especialmente hongos del genero *Trichoderma* sp, ya que son reconocidos por su capacidad de degradar compuestos lignocelulosicos, y además tienen como función el control de hongos fitopatógenos; así logrando reducir tiempo y calidad del producto final.

Debido a que los volteos de las pilas se realizan cada dos días, se recomienda realizar volteos periódicos de la materia orgánica para asegurar una buena aireación, contribuyendo a que se alcance las temperaturas adecuadas para la eliminación de organismos patógenos y la correcta asimilación del componente orgánico por parte de los organismos mesófilos y termófilos.

Continuar con el estudio realizando ensayos en el laboratorio en medios líquidos a diferentes concentraciones de vinaza y utilizando urea como fuente de nitrógeno, con el fin de dar un tratamiento previo a la vinaza para ser usada como materia prima en el proceso de compostaje.

Realizar pruebas fisicoquímicas como: DQO, DBO<sub>5</sub>, fenoles, color, pH, potasio, fosforo, nitrógeno total y solidos totales, para determinar la capacidad biodegradativa por parte de las cepas evaluadas en la vinaza, con el fin de que sean consideradas como una posible alternativa de pretratamiento para estos desechos contaminantes.

## 9. GLOSARIO

- ☑ **Abono orgánico:** el abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada.
- ☑ **Aeróbico:** proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.
- ☑ **Amonio:** es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra reducido y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por volatilización.
- ☑ **Anaeróbico:** proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.
- ☑ **Bacterias termófilas:** grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C.
- ☑ **Compost:** producto final del proceso de compostaje.
- ☑ **Compostaje:** Proceso controlado e irreversible de transformación biológica aeróbica, que ocurre mediante organismo descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismo, enzimas presentes en el medio natural), que conduce a una etapa de maduración, caracterizada por su estabilidad química y microbiológica.
- ☑ **Contaminación:** la alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él, por actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir el bienestar y la salud de las personas, atender contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la nación o de los particulares.
- ☑ **Descomposición:** degradación de la materia orgánica.
- ☑ **Emisión:** Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.
- ☑ **Fertilizante:** Producto que aplicado al suelo o a las plantas suministra a estas uno o más nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.
- ☑ **Inoculo:** concentrado de microorganismos que aplicado al compost, acelera el proceso de compostaje. Un compost semimaduro puede funcionar de inoculante.

- ☑ **Inorgánico:** sustancia mineral.
- ☑ **Lixiviado:** líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.
- ☑ **Lodo:** suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.
- ☑ **Materia orgánica:** residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.
- ☑ **Microorganismos:** organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nematodos etc.).
- ☑ **Microorganismos mesófilos:** grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C.
- ☑ **Mineralización:** transformación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y la liberación de formas inorgánicas esenciales para el desarrollo de las plantas.
- ☑ **Monitoreo:** Es el seguimiento sistemático del estado del recurso que permite conocer su evolución espacial y temporal en términos de calidad y cantidad.
- ☑ **Nitrato:** es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra oxidado y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por lixiviación.
- ☑ **Nitrógeno:** elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio).
- ☑ **Orgánico:** un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos orgánicos se pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia
- ☑ **Patógeno:** microorganismo capaz de producir una enfermedad. Puede ser fitopatógeno, cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales.
- ☑ **Relación C:N:** cantidad de carbono con respecto a la cantidad nitrógeno que tiene un material.

## 10. BIBLIOGRAFIA

ALTAMIRANO, M & Cabrera, C. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. En: Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 2006. vol. 9. No. 17 p.75-84

ANGARITA Carolina., et al. Las estatinas: Actividad biológica y producción biotecnológica. Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. 14, No. 2. 2012. p.4.

ATLAS, R. y BARTTHA, L. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación, S.A. Madrid. p. 2005. 677

BALDIRIS, Luisa; LÓPEZ, E., Castillo, J y Caicedo, LD. Biodegradación de la vinaza de caña de azúcar con cepas de los hongos *Schizophyllum commune* y *Trichoderma viride*. Universidad Santiago de Cali. Grupo de investigación en micología (GIM). V6 (14), 39-46. 2012. Pág 8.

BASTOS, R., Morais, V & Volpi, M. (2015). Influence of solid moisture and bed height on cultivation of *Aspergillus niger* from sugarcane bagasse with vinasse. Journal of Chemical Engineering. Vol. 32, No. 02. Pag 8.

BECERRA, Nuvia. Clarificación de vinazas de caña de azúcar por tratamiento fisicoquímico y filtración con membranas. Tesis: Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá D.C., 2014. p.134.

BENITEZ, F.J.; Real, F; Acero, J.; García, J. & Sánchez, M. Kinetics of the ozonation and aerobic biodegradation of wine vinasses in discontinuous and continuous processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2003 (101), 203-218.

BOHÓRQUEZ, Alexander. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azúcar en la compañía Riopaila Castilla. Tesis. Magister en Ciencias Agrarias. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Posgrado. 2013. Pag 123.

BOHÓRQUEZ A & Puentes Y. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuria. 2014.15(1). Pág. 9.

BOHÓRQUEZ, Alexander., *et al.* Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 2014. 15(1), 73-81.

CORTES, Sandra. Aprovechamiento de subproductos de la industria panelera en la elaboración de compost, utilizando microorganismos eficientes (EM). Trabajo de grado: ingeniería ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería ambiental. Bucaramanga. 2008. Pág 84.

CHAVES, S. Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). 2005. No. 21. Pag 3.

EPSTEIN, Elliot. Basic concepts of composting. Industrial composting. Environmental Engineering and facilities Management. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. ISBN – 13:978-1-4398-4532-5.

GARCÍA, A., C, Rojas. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota Técnica Técnica. Pág 13.

JIMÉNEZ, A., BORJA, A. y Martín, A. Aerobic-anaerobic biodegradation o beet molasses alcoholic fermentation wastewater. Process Biochemistry. V. 38, No 9. 2003. pag 3.

MACAS, Angela., MÉNDEZ, Gabriela. Evaluación de la capacidad biotransformadora de tatino del guarango (*caesalpinia spinosa*) a través de *Trametes versicolor* y *Aspergillus niger*. Trabajo de grado (Ingeniero de Biotecnología). Universidad Politécnica Salesiana. Quito. 2013. p.100.

MORENO, Joaquin. Compostaje. Ediciones Mandí prensa S.A. Barcelona México: 2008. Pag 570.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5167. 2011. Productos para la industria aerícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, D.C.: ICONTEC, pág 19.

LOPEZ, Wendy. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis: Maestría en biotecnología aplicada. Instituto Politécnico Nacional Centro De Investigación En Biotecnología. México. 2010. Pág 126.

PARNAUDEAU, V. (2008). Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. *Bioresource technology*. V 99. No 6. Pag 62.

PRIETO, Gabriel. Control de calidad del proceso de compostaje en INCAUCA S.A. Trabajo de grado: Microbiólogo. Universidad de Pamplona. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Microbiología. Cali. 2015. Pag 84.

SALGADO, S. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. En: *Revista Interciencia*. Noviembre, 2008. Vol. 33. No. 11. p. 855 – 860.

SALAMANCA, C. Efecto de las fuentes orgánicas obtenidas de los subproductos agroindustriales de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y el plátano (*Musa spp.*) sobre la actividad microbiana y enzimática en el suelo. Tesis de grado magíster en ciencias agrarias con énfasis en suelos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2008. Pag 63.

SÁNCHEZ, Tibayde. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop*. Vol. 59. No 3. 309-316. 2009.

SANTANDER, Christian. Efecto de la inoculación con *Glomus intraradices* schenck & smith y *Trichoderma harzianum* rifai, en el cultivo de melón (*Cucumis melo linneo.*; tipo inodorus var. honeydew orange flesh), bajo un ambiente controlado. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Universidad Arturo Prat. Departamento de Agricultura. Chile. 2012. Pag 27.

SOLANS, Xavier; ALONSO, Rosa y GADEA, Enrique. Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: Riesgos higiénicos. Madrid, España: Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo, 2008. p

## 11. ANEXOS

ANEXO 1. Géneros de eucariotas microbianos detectados en compostaje. Tomado de Moreno, J, 2008.

<b>Reino Fungi</b>						
<b>Clase Ascomycetes</b>						
<i>Acremoniella</i>	<i>Botrytis</i>	<i>Eremascus</i>	<i>Hormiscium</i>	<i>Nectria</i>	<i>Preussia</i>	<i>Stibella</i>
<i>Acremonium</i>	<i>Cephalophora</i>	<i>Eurotium</i>	<i>Humicola</i>	<i>Neosartorya</i>	<i>Pseudallescheria</i>	<i>Talaromyces</i>
<i>Acrophialophora</i>	<i>Cephalosporium</i>	<i>Eutypella</i>	<i>Hypocrea</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Pseudogymnoascus</i>	<i>Thermoascus</i>
<i>Aleurisma</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Exophiala</i>	<i>Hypomyces</i>	<i>Oedocephalum</i>	<i>Pullularia</i>	<i>Thermomyces</i>
<i>Alternaria</i>	<i>Chrysosporium</i>	<i>Fennellia</i>	<i>Leptographium</i>	<i>Oidiodendron</i>	<i>Rhinoclatiella</i>	<i>Thielavia</i>
<i>Aphanoascus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Macrosporium</i>	<i>Oidium</i>	<i>Rollandina</i>	<i>Thielaviopsis</i>
<i>Apiospora</i>	<i>Clonostachys</i>	<i>Gelasinospora</i>	<i>Malbranchea</i>	<i>Oospora</i>	<i>Scedosporium</i>	<i>Thysanophora</i>
<i>Arthrinium</i>	<i>Coniothyrium</i>	<i>Geomyces</i>	<i>Melanocarpus</i>	<i>Paecilomyces</i>	<i>Scolecobasidium</i>	<i>Torulopsis</i>
<i>Arthrobotrys</i>	<i>Coonemia</i>	<i>Geosmithia</i>	<i>Metarhizium</i>	<i>Papulaspora</i>	<i>Scopulariopsis</i>	<i>Trichocladium</i>
<i>Ascodesmis</i>	<i>Corynascus</i>	<i>Gilmaniella</i>	<i>Microascus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Scytalidium</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Ascotricha</i>	<i>Curvularia</i>	<i>Gliobotrys</i>	<i>Mollisia</i>	<i>Peziza</i>	<i>Sepedonium</i>	<i>Trichophaea</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Cylindrocarpon</i>	<i>Gliocladium</i>	<i>Monilia</i>	<i>Phialemonium</i>	<i>Sordaria</i>	<i>Trichothecium</i>
<i>Aureobasidium</i>	<i>Dactylaria</i>	<i>Gliomastix</i>	<i>Moniliella</i>	<i>Phialophora</i>	<i>Spicaria</i>	<i>Trichurus</i>
<i>Beauveria</i>	<i>Doratomyces</i>	<i>Graphium</i>	<i>Monotospora</i>	<i>Phoma</i>	<i>Sporothrix</i>	<i>Ulocladium</i>
<i>Botryosporium</i>	<i>Emericella</i>	<i>Gymnoascacea</i>	<i>Myceliophthora</i>	<i>Phomopsis</i>	<i>Stachybotrys</i>	<i>Verticillium</i>
<i>Botryotinia</i>	<i>Engyodontium</i>	<i>Harpographium</i>	<i>Mycogone</i>	<i>Pithomyces</i>	<i>Staphylotrichum</i>	<i>Volutella</i>
<i>Botryotrichum</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Heterosporium</i>	<i>Myrothecium</i>	<i>Plectosporium</i>	<i>Stemphylium</i>	<i>Westerdykella</i>
<b>Clase Saccharomycetes</b>						
<i>Candida</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Kluyveromyces</i>	<i>Pichia</i>			
<b>Clase Basidiomycetes</b>						
<i>Agaricus</i>	<i>Coprinus</i>	<i>Lentinus</i>	<i>Mycena</i>	<i>Pleurotus</i>	<i>Sporotrichum</i>	<i>Trametes</i>
<i>Armillaria</i>	<i>Fomes</i>	<i>Lenzites</i>	<i>Panaeolus</i>	<i>Sistotrema</i>	<i>Stereum</i>	<i>Trichosporon</i>
<i>Clitopilus</i>	<i>Gloeophyllum</i>					
<b>Clase Urediniomycetes</b>						
<i>Rhodotorula</i>						
<b>Clase Zygomycetes</b>						
<i>Absidia</i>	<i>Circinella</i>	<i>Mortierella</i>	<i>Piptocephalis</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Syncephalastrum</i>	<i>Zygorhynchus</i>
<i>Actinomuor</i>	<i>Cunninghamella</i>	<i>Mucor</i>	<i>Rhizomucor</i>	<i>Stylopaga</i>	<i>Syncephalis</i>	
<b>Reino Chromista</b>						
<b>Clase Oomycetes (Reino Chromista)</b>						
<i>Pythium</i>						



ANEXO 2. Géneros procariotas presentes en el proceso de compostaje. Tomado de Moreno, 2008.

<b>Dominio Bacteria</b>						
<b>Phylum Proteobacteria</b>						
<b>alfa-proteobacterias</b>						
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Caulobacter</i>	<i>Nitrobacter</i>	<i>Phyllobacterium</i>	<i>Xanthobacter</i>		
<i>Brevundimonas</i>	<i>Methylobacterium</i>	<i>Paracoccus</i>	<i>Rhodovulum</i>			
<b>Beta-proteobacterias</b>						
<i>Achromobacter</i>	<i>Alcaligenes</i>	<i>Comamonas</i>	<i>Nitrosomonas</i>	<i>Variovorax</i>		
<i>Acidovorax</i>	<i>Chromobacterium</i>	<i>Janthinobacterium</i>	<i>Paucimonas</i>			
<b>Gamma-proteobacterias</b>						
<i>Acinetobacter</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Moraxella</i>	<i>Proteus</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Stenotrophomonas</i>
<i>Azotobacter</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Pantoea</i>	<i>Pseudoaltermonas</i>	<i>Serratia</i>	
<b>Phylum Firmicutes</b>						
<b>Bacilli</b>						
<i>Amphibacillus</i>	<i>Brevibacillus</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Paenibacillus</i>	<i>Thermoactinomyces</i>		
<i>Bacillus</i>	<i>Caryophanon</i>	<i>Geobacillus</i>	<i>Staphylococcus</i>			
<b>Clostridia</b>						
<i>Clostridium</i>	<i>Desulfotomaculum</i>					
<b>Phylum Bacteroidetes</b>						
<i>Bacteroides</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Chryseobacterium</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Sphingobacterium</i>		
<b>Phylum Actinobacteria</b>						
<i>Actinomyces</i>	<i>Curtobacterium</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Propionibacterium</i>	<i>Rhodococcus</i>	<i>Terrabacter</i>	<i>Thermomonospora</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Kocuria</i>	<i>Micromonospora</i>	<i>Pseudonocardia</i>	<i>Saccharomonospora</i>	<i>Thermobifida</i>	<i>Thermopolyspora</i>
<i>Cellulomonas</i>	<i>Microbacterium</i>	<i>Nocardia</i>	<i>Rathayibacter</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Thermocrispum</i>	<i>Symbiobacterium</i>
<i>Corynebacterium</i>						
<b>Phylum Deinococcus-Thermus</b>						
<i>Thermus</i>						
<b>Phylum aquificae</b>						
<i>Hydrogenobacter</i>						
<b>Dominio Archaea</b>						
<i>Methanothermobacter</i>						

**Anexo 3.** Requisitos fisicoquímicos para abonos o fertilizantes sólidos.

Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
<p>Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Pérdidas por volatilización %</li> <li>* Contenido de cenizas máximo 60%</li> <li>* Contenido de humedad:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para materiales de origen animal, máximo 20%</li> <li>- Para materiales de origen vegetal, máximo 35%</li> <li>- Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material Predominante.</li> </ul> </li> <li>* Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%.</li> <li>* N1P2O5 Y K2O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%)</li> <li>* Relación C/N</li> <li>* Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)</li> <li>* Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso.</li> <li>* pH mayor de 4 y menor de 9</li> <li>* Densidad máximo 0,6 g/cm<sup>3</sup></li> <li>* Límites máximos en mg/Kg (ppm)) de los metales pesados expresados a continuación.               <ul style="list-style-type: none"> <li>Arsénico (As) 41</li> <li>Cadmio (Cd) 39</li> <li>Cromo (Cr) 1 200</li> <li>Mercurio (Hg) 17</li> <li>Niquel (Ni) 420</li> <li>Plomo (Pb) 300</li> </ul> </li> <li>* Se indicará la materia prima de la cual procede el producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contenido de carbonoorgánico oxidable total (%C)</li> <li>Humedad máxima (%)</li> <li>Contenido de Cenizas (%)</li> <li>Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+)Kg-1) (meq/100g)</li> <li>Capacidad de Retención de Humedad (%) pH</li> <li>Contenido de Nitrógeno Total (%N)</li> <li>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul>

Fuente. (NTC 5167 de 2011)

**Anexo 4.** Requisitos microbiológicos para abonos o fertilizantes sólidos.

Parámetro	Requisito
<i>Salmonella</i> spp	ausente en 25 g
<i>Coliformes</i> totales	< 1 000 NMP o UFC/g o ml
Huevos de helminto viables <sup>(1)</sup>	< 1 en 4g de muestra (base seca)
Fitopatógenos	Ausente
<sup>1)</sup> Se debe garantizar la sanidad del material, en relación con fitopatógenos específicos que pudieren estar presentes según el origen de las materias primas y de acuerdo con lo establecido por la autoridad nacional competente, se excluye de estos requisitos los productos de origen pedogenético.	

Fuente. (NTC 5167 de 2011)

**Anexo 5.** Medios de cultivo

Medios de cultivo	COMPOSICIÓN (g/L)
<b>MERCK</b> <sup>39</sup>	
<b>CALDO LACTOSADO</b>	Peptona 5,0; extracto de carne 3,0; lactosa 5,0. pH 6,9 a 25°C. Preparación 13g /L. Autoclavar a 121°C por 15 minutos. Caldo de enriquecimiento para el aislamiento de <i>Salmonella sp.</i>
<b>AGUA PEPTONADA</b>	Peptona de caseína 10,0, cloruro de sodio 5,0, dihidrogenofosfato de potasio 1,5, hidrogenofosfato de disodico dodecahidrato 9,0. Preparación 25,5 g/L, pH 7 a 25°C. Autoclavar a 121°C por 15 min.
<b>AGAR SABOURAUD</b>	Peptona 10,0; peptona de carne 40,0; glucosa 40,0; Agar-agar 15,0. Preparación: 65g/L. pH: 5.6 a 25°C. . Autoclavar a 121°C por 15 min. Para el aislamiento de mohos y levaduras.
<b>AGAR PLATE COUNT</b>	Peptona de caseína 5,0; extracto de levadura 2,5; D(+)-glucosa 1,0; agar 14,0. pH 7.0 a 25 °C. Preparación 22.5/L. Autoclavar a 121°C por 15 min. Aislamiento de bacterias mesofilas.
<b>AGAR VRB</b>	Peptona de carne 7,0; extracto de levadura 3,0; cloruro de sodio 5,0; lactosa 10,0; rojo neutro 0.03; mezcla de sales biliares 1,5; cristal violeta 0,002; agar 13,0. Ph 7.4 a 25°C. Calentar hasta ebullición. Para el aislamiento de enterobacterias.
<b>AGAR MRS</b>	Peptona de caseína 10,0; extracto de levadura 4,0;

	D(+)- glucosa 20,0; hidrogenofosfato dipotasico 2,0; tween80 1,0; acetato de sodio 5,0; sulfato de magnesio 0,2; sulfato de manganeso 0,04; ciclohexamida 5ml/100ml, azul de anilina 5m/100ml, agar 14,0. pH 5.7. Preparación: 68,2 g/L. Autoclavar a 121°C por 15 min. Medio utilizado para bacterias ácido láctico.
<b>OXOID</b> <sup>40</sup>	
<b>AGAR XLD</b>	Extracto de levadura 3,0; L-lisina 5,0; xilosa 3,5; lactosa 7.5; sacarosa 7,5; desoxicolato sódico 2,5; citrato férrico de amonio 0.8; tiosulfato sódico 6,8; cloruro de sodio 5,0; agar 13,5; Rojo de fenol 0.08. Preparación 55g/L .pH 7.4. Calentar hasta ebullición. Medio utilizado para aislamiento de <i>Salmonella</i> .
<b>AGAR SPS</b>	Triptona 15; Extracto de levadura 10.0; citrato férrico 0.5; sulfito de sodio 0.5; Tioglicolato de sodio 0.1; Polifostato 0.005; sulfadiazida 0.12; sulfato polimixina B 0.01; Agar 15.0. Ph: 7.0. Atoclavar a 121°C por 15 min. Medio utilizado para el aislamiento de bacterias sulfitorreductoras.

Anexo 6. Composición de los medios de cultivo.

Concentraciones de vinaza	COMPOSICION (%)
<b>5%</b>	
<b>10%</b>	Vinaza + Peptona 0.1 + glucosa 0.5
<b>15%</b>	
<b>20%</b>	Vinaza + peptona 0.1 + miel B 0.5
<b>25%</b>	
<b>30%</b>	Vinaza + Miel B 0.5
<b>35%</b>	
<b>40%</b>	

<sup>38</sup> MERCK\_ Manual de medios de cultivo. Darmstadt, Alemania. 1994. p 274-304.

<sup>39</sup> Oxoid\_ Manual medios de cultivo ingredientes para su preparación. 4th Edición. Oxoid limited. p.222- 271.