

1-1-2015

Comparación entre la técnica Bokashi y el equipo Earth Green SAC 100 para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de La Salle sede Candelaria

Oscar Fabián Pinto Gómez
Universidad de La Salle, Bogotá

Diego Fernet Mayorga Hernández
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Pinto Gómez, O. F., & Mayorga Hernández, D. F. (2015). Comparación entre la técnica Bokashi y el equipo Earth Green SAC 100 para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de La Salle sede Candelaria. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/409

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**COMPARACIÓN ENTRE LA TÉCNICA BOKASHI Y EL EQUIPO EARTH
GREEN SAC 100 PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS GENERADOS EN LA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA.**

**OSCAR FABIÁN PINTO GÓMEZ.
DIEGO FERNET MAYORGA HERNÁNDEZ.**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.
PROYECTO DE GRADO.
BOGOTÁ, 2015.**

**COMPARACIÓN ENTRE LA TÉCNICA BOKASHI Y EL EQUIPO EARTH
GREEN SAC 100 PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS GENERADOS EN LA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA.**

**OSCAR FABIÁN PINTO GÓMEZ.
DIEGO FERNET MAYORGA HERNÁNDEZ.**

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario.**

**DIRECTOR:
Ing. Ambiental y Sanitario.
JAVIER MAURICIO GONZÁLEZ DÍAZ.**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.
PROYECTO DE GRADO.
BOGOTÁ, 2015.**

Nota de aceptación.

Director.

Jurado 1: Oscar Fernando Contenido Rubio.

Jurado 2: Mónica Nohemy Numpaque Moreno.

Bogotá, Diciembre de 2015.

DEDICATORIA.

Oscar Fabián Pinto Gómez.

A mi señora madre, por ser la gran hacedora de todos mis triunfos, mi fiel compañera y amiga en los momentos difíciles, por su amor infinito e impulsarme a que sea una gran persona y un excelente profesional.

A mi querido padre, pues hoy en día soy el fiel reflejo del gran hombre que él es, pues me inculcó valores únicos, me enseñó a vivir la vida y sus exigencias me ponen hoy en día en el lugar en el que estoy.

A mis tíos, Jairo y Dora por ser los mejores maestros que he tenido a lo largo de mi vida, los segundos mejores padres que pude tener y por acompañarme en mi formación personal y profesional. Y a Leonor por su dedicación, todas sus atenciones y el cariño que nos brinda a toda la familia.

A mis primos Elkin, Carlos, Mileni, Dannin, Ruby e Iván por ser los hermanos que nunca tuve, por darme alegrías y ser mi mejor ejemplo.

A mi abuelita Rosa por su infinito cariño, estar siempre pendiente de mí y ser la persona que une nuestra gran familia.

A Paola, quien aunque no estuvo presente en este proceso por alcanzar sus metas, siempre estuvo pendiente de las mías, dándome ánimo y fortaleza y por enseñarme que con amor cualquier cosa se puede lograr.

DEDICATORIA.

Diego Fernet Mayorga Hernández.

A mi madre que me permitió ser el hombre que soy hoy en día, que mediante su ejemplo y enseñanza me inculcó que cualquier meta se puede lograr con esfuerzo y perseverancia, a ella que hoy le demuestro que sus esfuerzos durante toda la vida tienen sus frutos.

A mi padre que me educó y me enseñó los valores que hoy en día son tan escasos en el mundo, que me inculcó que el hombre debe estar siempre dispuesto a colaborarles a los demás y que sobre todas las cosas se debe ser honorable, sincero y justo.

A mi hermano que me ha acompañado todos estos años de vida, que me ha enseñado a cómo superar los problemas que se presentan a diario y que sin ninguna duda me ha apoyado pese a cualquier circunstancia.

A mi Tío Jairo y mi Tía Llivis que siempre han estado pendientes de mí y mi vida, que siempre me han demostrado su apoyo y cariño de la forma más sincera.

A mi amiga Nelly que me enseñó que no se necesita tener lazos sanguíneos para ser familia y que me demostró que a pesar de los problemas, existen personas que están dispuestas a colaborarnos sin ningún interés a cambio.

A Natalia por brindarme su amor, comprensión y apoyo, por ser quien me acompañó en tantos momentos tristes y felices durante la carrera y la vida y por ser quien me ha enseñado que a pesar de los problemas lo más importante en la vida es ser feliz.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios y a la vida, por darnos la licencia y la bendición de vivir nuestra mejor etapa. Por habernos dado unos excelentes padres y familias, pues obtuvimos de ellos una gran formación, y por concedernos los mejores amigos y compañeros a lo largo de nuestra carrera en la universidad.

Al director del presente proyecto de grado, Ing. Javier Mauricio González Díaz por habernos guiado, acompañado y brindado las mejores anotaciones, corregirnos y entregarnos su experiencia a lo largo de todo el proceso.

A nuestras compañeras Edna y Natalia, quienes fueron el punto de partida del presente proyecto y por su contribución cuando lo requerimos.

Al personal del laboratorio del programa de Ing. Ambiental y Sanitaria, por su cooperación cuando necesitamos préstamos de equipos o cualquier material solicitado.

Al personal de servicios generales, que nos brindaron colaboración y apoyo en todo momento.

GLOSARIO.

Abonos orgánicos: Son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos, el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora y mejora sus características físicas, químicas y biológicas. (Trinidad, 2010)

Bokashi: “Bokashi” es una palabra japonesa, que significa materia orgánica fermentada. En buenas condiciones de humedad y temperatura, los microorganismos comienzan a descomponer la fracción más simple del material orgánico, como son los azúcares, almidones y proteínas, liberando sus nutrientes. El Bokashi es un abono orgánico posible de obtener en tiempo menor a 1 mes. El método se caracteriza por ser propio de regiones rurales y por ser de fácil construcción ya que sus componentes son de carácter económico y no requiere de gran complejidad.

Contenido de humedad: El contenido en humedad óptimo para el compostaje aerobio está en el rango del 50 al 60 por 100. La humedad puede ajustarse mediante la mezcla de componentes o la adición de agua. Cuando el contenido en humedad del compost cae por debajo del 40 por 100, se reduce la velocidad de fermentación. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Control del pH: El control del pH es otro parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos. El valor del pH, como la temperatura, del compost varía con el tiempo durante el proceso del compostaje. El pH inicial de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos esta normalmente entre 5 y 7. El pH del material fermentado variara según el perfil pH-tiempo. En los primeros días de compostaje, el pH cae a 5 o menos. Durante esta etapa la masa orgánica está a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesófilos, y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples, que causan la caída del pH. Después de aproximadamente tres días la temperatura llega a la etapa termofílica, y el pH empieza a subir aproximadamente a 8,5, para el resto del proceso aerobio. El valor del pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor en rango de 7 a 8 en el compost maduro. Si el grado de aireación no es adecuado, se producirán condiciones anaerobias, el pH caerá hasta aproximadamente 4-5, y el proceso de compostaje se retrasara. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Compost: Es uno de los mejores abonos orgánicos que se puede obtener en forma fácil y que permite mantener la fertilidad de los suelos con excelentes resultados en el rendimiento de los cultivos. Es el resultado de un proceso controlado de descomposición de materiales orgánicos debido a la actividad de alimentación de diferentes organismos del suelo

(bacterias, hongos, lombrices, ácaros, insectos, etc.) en presencia de aire (oxígeno). El abono compostado es un producto estable, que se le llama humus. Este abono orgánico se construye con el estiércol de los animales de granja (aves, caballos, vacas, ovejas o cerdos), residuos de cosechas, desperdicios orgánicos domésticos y papel. (ECOSUR, 2012)

Compostadores Earthgreen SAC: Son un sistema autónomo de compostaje, los cuales transforman en el sitio sus residuos en compost o abono, en 30 días, sin realizar "volteos" cada 2 y 3 días, sin adicionar químicos o bacterias, sin olores ni lixiviados y con el control absoluto de moscas o roedores. Los modelos de compostadores **EARTHGREEN SAC**, vienen con capacidades en volumen de 100, 280, 350, 500, 1.500, 2.2250, 3.000 y 4.500 litros, para residencias, urbanizaciones, barrios, instituciones, empresas, donde se procesan y consumen alimentos o se generan residuos agroindustriales o excrementos animales hasta 6-8 ton/día. (EARTHGreen Colombia , 2011)

Compostaje Aerobio: Es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos a un material húmico estable conocido como compost. Las posibles aplicaciones del compostaje aerobio incluyen: 1) Residuos de jardín, 2) Residuos sólidos urbanos separados, 3) Residuos sólidos urbanos no seleccionados, y 4) compostaje conjunto con fangos de agua residuales. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Todos los procesos de compostaje aerobio son similares en cuanto que incorporan tres pasos básicos: 1) preprocesamiento de residuos sólidos urbanos, 2) descomposición aerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y 3) preparación y comercialización del producto. Los tres métodos principales utilizados para el compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos son hilera, pila estática aireada, y en biorreactor. Aunque estos métodos difieren principalmente en el método utilizado para airear la fracción orgánica de los residuos sólidos, los principios biológicos siguen siendo los mismos, y cuando se diseñan y se operan correctamente, todos producen un compost de similar calidad en aproximadamente el mismo periodo de tiempo. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Durante el proceso de compostaje aerobio, están activos diversos microorganismos aerobios facultativos y obligados. En las fases primeras del proceso de compostaje, las más predominantes son las bacterias mesolíticas. Después de subir las temperaturas en el compost, predominan las bacterias termofílicas, que conducen a hongos termofílicos que aparecen después de 5 o 10 días. En las últimas etapas, o periodos de maduración, aparecen mohos y actinomicetos. Si no están presentes concentraciones significativas de estos microorganismos en algunos tipos de residuos biodegradables (por ejemplo, papel periódico), puede que sea necesario añadirlos al material fermentándose como un aditivo o inóculo. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Relación carbono/nitrógeno: El factor ambiental más importante del compostaje es la relación carbono/ nitrógeno. El rango óptimo para la mayoría de los residuos orgánicos está entre 20 y 25 a 1. Los fangos tienen relaciones carbono/nitrógeno bajas, mientras que los residuos de jardín, tales como hojas, y los periódicos, tienen relaciones carbono/nitrógeno relativamente altas. Se debería resaltar que las relaciones carbono/nitrógeno se basa en los pesos secos totales del carbono y nitrógeno, y no en el peso seco de la fracción biodegradable del material orgánico. En general, todo el nitrógeno orgánico presente en la mayoría de los compuestos orgánicos llegara a estar disponible, mientras que no todo el carbono orgánico será biodegradable. Según el material residual en cuestión, la relación carbono/nitrógeno calculada sobre una base de pesos totales de carbono y nitrógeno podría ser equivocada, especialmente en aquellos casos en los que todo el nitrógeno disponible es biodegradable, pero solamente una porción de carbono orgánico es biodegradable (por ejemplo lignina en papel residual). Así, suponiendo que todo el nitrógeno está disponible, la relación carbono/nitrógeno de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos puede variar desde aproximadamente 34 hasta 60, según que el carbono disponible sea parcial o totalmente biodegradable. La mezcla de un residuo con un contenido alto de carbono y bajo en nitrógeno (por ejemplo, lignina en papel de periódico) con un residuo alto en nitrógeno (por ejemplo, residuos de jardín) se utiliza para lograr relaciones óptimas. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Tamaño de partículas: La mayoría de los materiales que conforman los residuos sólidos son de forma irregular. Se puede reducir esta irregularidad sustancialmente mediante la trituración de los materiales orgánicos antes de fermentarlos. El tamaño de las partículas influye en la densidad bruta, la fricción interna y las características de flujo, y las fuerzas de arrastre de materiales. Lo más importante de todo, un tamaño de partículas reducido, incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas durante el proceso de compostaje aerobio. El tamaño de partículas más deseable para el compostaje es menor de 5 cm, pero se pueden fermentar partículas más grandes. El tamaño de partícula del material que se fermenta está controlado en parte por los requisitos del producto final y por consideraciones económicas. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Temperatura: Los sistemas de compostaje aerobios pueden funcionar en ambas regiones de temperatura, o bien en el mesofílico, 30 a 38°C, o bien en el termofílico, 55 a 60°C. La subida de temperatura observada en los residuos en fermentación se produce por las reacciones exotérmicas asociadas con el metabolismo respiratorio. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

TABLA DE CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN.....	13
1. JUSTIFICACIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. METODOLOGÍA.....	16
4. MARCO TEÓRICO.....	19
4.1 MÉTODOS DE COMPOST USADOS.....	19
4.1.1 Recipiente <i>Earth Green SAC 100</i>	19
4.1.2 <i>Bokashi</i>	20
4.2 FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	21
4.2.1 <i>Temperatura</i>	21
4.2.2 <i>Humedad</i>	22
4.2.3 <i>pH</i>	23
4.2.4 <i>Aireación</i>	24
4.2.4.1 <i>Volteo</i>	25
4.2.4.2 <i>Espacio De Aire Libre</i>	25
4.2.5 <i>Relación Carbono-Nitrógeno</i>	25
4.2.6 <i>Materia Orgánica</i>	26
4.2.7 <i>Nutrientes</i>	27
4.3 FASES DEL COMPOSTAJE.....	27
4.3.1 <i>Fase Mesófila</i>	27
4.3.2 <i>Fase Termófila</i>	28
4.3.3 <i>Fase Mesófila II Enfriamiento</i>	28
4.3.4 <i>Fase de Maduración</i>	29
5. COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS ENVIADAS AL LABORATORIO (ECUACIÓN DE TCHOBANOUGLOUS).....	30
5.1 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL RESTAURANTE DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA.....	30
5.2 COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS.....	30
6. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE TCHOBANOUGLOUS.....	32
6.1 IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA BOKASHI.....	34
6.2 CARGA DEL COMPOSTADOR EARTH GREEN SAC 100.....	37
7. CURVAS DE PH Y TEMPERATURA.....	39
7.1 EQUIPO EARTH GREEN SAC 100.....	39
7.2 TÉCNICA BOKASHI.....	41
8. ETAPA DE MADURACIÓN DEL COMPOST.....	43

8.1	TAMIZAJE DE LAS MUESTRAS DEL COMPOST.....	45
9.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPOST	
	PRODUCTO DE LAS DOS TÉCNICAS (MUESTRAS ENVIADAS A LABORATORIO).	47
9.1	RESULTADOS EQUIPO EARTH GREEN SAC 100.....	47
9.2	RESULTADOS TÉCNICA BOKASHI.	48
9.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
	CONCLUSIONES.	51
	RECOMENDACIONES.....	54
	BIBLIOGRAFÍA	56
	ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Compostador Earth Green SAC 100	19
Tabla 2.	Nutrientes en estiércoles y otros subproductos de varias especies animales	21
Tabla 3.	Composición de la muestra 1 (1Kg).....	31
Tabla 4.	Composición de la muestra 2 (1Kg).....	31
Tabla 5.	Resultados de laboratorio de la muestra 1.....	32
Tabla 6.	Resultados de laboratorio de la muestra 2.....	32
Tabla 7.	Pesos de cada componente para implementar la técnica BOKASHI.	35
Tabla 8.	Pesos de cada componente para el compostador EARTH GREEN SAC 100.	38
Tabla 9.	Diámetros de los tamices utilizados en el proceso.	45
Tabla 10.	Resultados del análisis del compost producto del equipo EARTH GREEN SAC 100.....	47
Tabla 11.	Resultados del análisis del compost producto de la técnica BOKASHI.	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1.	pH, Temperatura y Oxígeno en el proceso de compostaje.....	29
Ilustración 2.	Residuos sólidos orgánicos separados.....	34
Ilustración 3.	Mezcla BOKASHI	36
Ilustración 4.	Mezcla final técnica BOKASHI.....	36
Ilustración 5.	Control de lixiviados técnica BOKASHI.	37
Ilustración 6.	Re-implementación compostador EARTH GREEN SAC 100	39
Ilustración 7.	Maduración del compost producto de las dos técnicas.	44
Ilustración 8.	Maduración compost técnica BOKASHI.	45
Ilustración 9.	Maduración compost equipo EARTH GREEN SAC 100.....	45
Ilustración 10.	Tamices utilizados en el proceso.....	46
Ilustración 11.	Muestras enviadas al laboratorio del compost producto de las dos técnicas.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura a lo largo de las fases del compostaje.	22
Gráfica 2. Comportamiento del pH a lo largo de las fases del compostaje.	24
Gráfica 3. Curva de temperatura equipo EARTH GREEN SAC 100.	40
Gráfica 4. Curva de pH equipo EARTH GREEN SAC 100.	40
Gráfica 5. Curva de temperatura técnica BOKASHI.	42
Gráfica 6. Curva de pH técnica BOKASHI.	42

INTRODUCCIÓN.

Colombia es un país donde el aprovechamiento de residuos posee menos atención e inversión de la que necesita. Solamente Bogotá genera mensualmente más de 180.000 toneladas de residuos sólidos, su escaso aprovechamiento tiene hoy en día en jaque al relleno sanitario de Doña Juana el cual fue diseñado y construido a final de los años 80, su capacidad está al máximo y los accidentes que ha sufrido exigen un nuevo relleno sanitario y políticas que aprovechen los residuos sólidos que se generan no solo en la capital, sino en todo el territorio nacional.

El compostaje históricamente ha sido considerada como una técnica alternativa no solo para la disposición y aprovechamiento de residuos en el suelo sino como opción para reducir la generación de gases y contaminantes que afectan el medio ambiente. El proceso de degradación biológica de residuos orgánicos está documentado desde el siglo I d.C. Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica (degradación natural) utilizando el producto resultante como abono. Los productos así obtenidos no siempre conservaban su potencial nutritivo debido a la falta de control sobre el proceso (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011). Los residuos sólidos generados en la Universidad de La Salle sede Candelaria, servirán en este caso como materia prima de experimento para hallar cuál técnica de compostaje obtiene mejores rendimientos, con una eficiencia óptima en cuanto al Costo/Beneficio, bajo las mismas condiciones ambientales. La técnica Bokashi y el equipo compostador Earth Green SAC 100 son las alternativas para este proyecto. La técnica mediante el uso del equipo Earth Green SAC 100 fue evaluada en trabajos de grado anteriores y el objetivo de la presente tesis es compararla experimentalmente con la técnica Bokashi.

En el desarrollo de este documento se define la composición de las dos técnicas y los conceptos que cada una necesita desarrollar. Con el trabajo de grado “aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la universidad de la Salle sede centro mediante el compostador Earth Green SAC – 100” (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015) se implementará nuevamente el trabajo elaborado por las autoras y se tendrá como objetivo principal mantener la relación C/N (25:1), no solo para el equipo Earth Green SAC 100 sino también para la técnica Bokashi. El control a parámetros como temperatura y pH será vital para llevar a cabo un estricto seguimiento al rendimiento de cada técnica y además para evaluar mediante la elaboración de curvas de pH, temperatura y estudios de laboratorio cuál de los dos abonos obtenidos tienen un mejor rendimiento o semejante, en mayor proporción a lo exigido por los parámetros de la NTC 5167.

1. JUSTIFICACIÓN.

En la Universidad de La Salle sede Candelaria, se están generando en promedio diariamente cerca de 20 Kg de residuos sólidos orgánicos, producto de la cafetería de tal establecimiento; con un alto potencial aprovechable (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015), los cuales están siendo entregados directamente a la empresa de recolección para llevarlos a disposición final en el relleno sanitario. Es decir, el centro educativo cuenta con las materias primas necesarias para aprovechar dichos residuos en alternativas de producción de compost.

El propósito central de la presente investigación es evaluar qué alternativa de compostaje, mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados; es la mejor alternativa de producción de compost en términos de calidad, basados en la NTC 5167/2011. Se busca una reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario, logrando alargar la vida útil de este. Por otro lado, las técnicas de compostaje se convierten en unas alternativas sumamente eficientes para el aprovechamiento de dichos residuos, logrando producir un abono 100% orgánico, libre de químicos y agentes biológicos que aceleren y mejoren su producción; por lo que se trata de una magnánima forma de aprovechamiento de residuos.

Para la universidad se pueden lograr beneficios económicos importantes; por un lado se puede reducir la tarifa que se está pagando a la empresa de aseo por el tratamiento de los residuos que genera, y por otro lado el compost que produciría podría comercializarlo, ya que, independientemente de la técnica que sea más eficiente, la misma estará evaluada bajo parámetros de la norma técnica colombiana 5167/2011; haciendo de este un abono con excelentes calidades; o si bien, podría utilizarlo en zonas verdes de la universidad, para árboles o huertas.

Finalmente, se logra crear una costumbre de aprovechamiento de aquellos residuos sólidos que tiene un alto potencial aprovechable, haciendo de las técnicas de compostaje unas alternativas viables económicamente, ambientalmente y socialmente. Además, podría implementarse en las demás sedes de la universidad, en hogares, comedores comunitarios, plazas de mercado, entre otras.

2. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Comparar experimentalmente el compost producto de la técnica BOKASHI y del equipo EARTHGREEN SAC 100 manteniendo las mismas condiciones técnicas (relación C/N) y ambientales mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de La Salle sede Candelaria.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar las condiciones operativas de la técnica BOKASHI para conservar la misma relación C/N del método de obtención de compost a través del equipo EARTH GREEN SAC 100 que ya estuvo en funcionamiento en las instalaciones de la universidad.
- Implementar la técnica BOKASHI mediante los parámetros previamente establecidos, aplicando la ecuación de Tchobanoglous para una relación C/N 25:1.
- Evaluar comparativamente el compost obtenido de la técnica BOKASHI y el del equipo EARTH GREEN SAC 100 determinando el de mejor calidad según la NTC 5167, a través de pruebas de laboratorio certificadas.

3. METODOLOGÍA.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el proyecto se emplea una metodología cuantitativa de tipo experimental-correlacional; que involucra la determinación de características fundamentales para establecer las propiedades de trabajo del método BOKASHI, el análisis de las mismas en términos de mantener la misma relación C/N entre esta y el equipo compostador, y la posterior comparación de los resultados obtenidos, tanto del compost producto del equipo EARTH GREEN SAC 100, el cual estuvo funcionando en las instalaciones de la Universidad, y del que se obtuvo una relación C/N óptima (25:1), evaluado bajo parámetros establecidos en la NTC 5167, y el obtenido de la implementación de la técnica BOKASHI como alternativa para la evaluación y comparación de cuál opción arroja mejores resultados, en cuanto a la calidad del compost obtenido.

Por lo tanto, el primer objetivo específico se cumple mediante una metodología cuantitativa de tipo experimental, teniendo en cuenta que se establecen las condiciones operativas y técnicas para mantener la misma relación C/N de 25:1 del otro método de compostaje; teniendo estricto control de las variables que se utilizaron. Por tal razón, es importante resaltar que en la literatura revisada, la técnica BOKASHI no cuenta con especificaciones técnicas que permitan hacer de la misma una forma de obtención de compost que podría arrojar mejores resultados. Es por esto que se le incorpora a dicho método la ecuación de Tchobanoglous, garantizando que la comparación de los resultados entre las dos técnicas se realice bajo los mismos parámetros técnicos y similares condiciones ambientales, sabiendo que las dos técnicas se implementan al mismo tiempo y en las instalaciones de la Universidad.

Entre tanto, para el segundo objetivo específico, se aplica una metodología cuantitativa experimental, pues se controlaron y analizaron todas las variables que mantuvieran la misma relación de C/N de 25:1 para la implementación de la técnica BOKASHI. Se hizo uso de la ecuación de Tchobanoglous para establecer las proporciones de residuos y componentes de la técnica y se llevó a cabo la experimentación de obtención de compost a través de las dos técnicas, re-implementando el proceso del equipo EARTH GREEN SAC 100.

Finalmente, en el tercer objetivo específico se trabaja bajo una metodología cuantitativa correlacional, ya que al compost producto de los dos procedimientos se les evalúa su calidad basados en la NTC 5167 a través de pruebas de laboratorio certificadas. Dichos resultados se analizan, teniendo en cuenta diferentes parámetros; los cuales se relacionan y cotejan, obteniendo como resultado cuál método arroja el mejor compost en términos calidad. Igualmente, se hace tratamiento a los datos de pH y temperatura, mediante la

construcción de curvas; con el objetivo de analizar el comportamiento que tuvieron dichas variables en cada uno de los métodos.

Adicionalmente, el proyecto consta de las siguientes fases.

En la etapa número uno se consolidan dos muestras que se llevan a analizar en un laboratorio certificado por el ICA, con el objeto de establecer la relación C/N de cada una para poder componer la mezcla final con la que se efectúa el compostaje por el método de bokashi. La muestra número 1 le aporta carbono a la muestra y se compone de carbón (componente del bokashi), papel (resol aprovechable) y cascarilla de arroz (componente del bokashi). La muestra número dos le aporta nitrógeno y estuvo compuesta de gallinaza (componente del bokashi), residuos sólidos orgánicos de la Universidad junto con los restos vegetales generados en el corte de césped y en la poda de árboles. Se enviaron a análisis 1 Kg de cada muestra.

En la segunda etapa, una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se procede a hacer uso de la ecuación de Tchobanoglous con el fin de determinar la composición real del bokashi, por cada componente, para mantener una relación C/N de 25:1.

$$\frac{C}{N}_{deseada} = \frac{C \text{ en 1 Kg de materia rica en Carbono} + X(C \text{ en 1 Kg de materia rica en Nitrogeno})}{N \text{ en 1 Kg de materia rica en Carbono} + X(N \text{ en 1 Kg de materia rica en Nitrogeno})}$$

En la tercera etapa se implementa y lleva a cabo el montaje de la técnica bokashi, utilizando cada uno de los componentes de la técnica más los residuos sólidos con potencial aprovechable generados en la Universidad de La Salle. La técnica BOKASHI consta de los siguientes componentes: Gallinaza, cascarilla de arroz, carbón. Se procede a la mezcla de dichos componentes en las proporciones ya establecidas, y se le adicionan los residuos orgánicos junto con los restos vegetales generados en el corte de césped y en la poda de árboles, en las proporciones calculadas. Igualmente, para que la comparación se efectúe bajo las mismas condiciones ambientales, se procede a reanudar el proceso de compostaje del equipo EARTH GREEN SAC 100 ya implementado, siguiendo al pie de la letra las especificaciones técnicas y operativas del proyecto “Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de La Salle sede centro mediante el compostador EARTHGREEN SAC – 100”. La fase de compostaje se efectúa en 30 días y la maduración del mismo se cumple en 10 días. En esta etapa se mantuvo estricta vigilancia los parámetros de pH y temperatura.

Ahora bien, en la cuarta etapa se procede a tomar una muestra representativa del compost obtenido de cada técnica, para que sean analizadas en un laboratorio certificado por el ICA y se comparen los resultados con los parámetros establecidos por la NTC 5167.

En la última etapa se hace la construcción de las curvas de pH y temperatura, para dar cuenta de que las mezclas cumplen con la normatividad, se analizan los resultados, y se concluye cuál es la mejor técnica de compostaje.

4. MARCO TEÓRICO.

El compost es un fertilizante orgánico libre de patógenos que permite la agregación de nutrientes y propiedades para cedérselos al suelo y así obtener mejores condiciones para su uso. El compost es el resultado de un proceso controlado de descomposición de materiales orgánicos debido a la actividad de alimentación de diferentes organismos del suelo (bacterias, hongos, lombrices, ácaros, insectos, etc.) en presencia de aire (oxígeno). El abono compostado es un producto estable, denominado humus. Este abono orgánico se construye con el estiércol de los animales de granja (aves, caballos, vacas, ovejas o cerdos), residuos de cosechas, desperdicios orgánicos domésticos y papel. (Gonzalez, 2010)

4.1 Métodos de Compost usados.

4.1.1 Recipiente Earth Green SAC 100

Son un sistema autónomo de compostaje, los cuales transforman en el sitio sus residuos en compost o abono, en 30 días, sin realizar "volteos" cada 2 y 3 días, sin adicionar químicos o bacterias, sin olores ni lixiviados y con el control absoluto de moscas o roedores. Los Modelos de Compostadores EARTHGREEN SAC, vienen con capacidades en volumen de 100, 280, 350, 500, 1.500, 2.225, 3.000 y 4.500 litros, para residencias, urbanizaciones, barrios, instituciones, empresas, donde se procesan y consumen alimentos o se generan residuos agroindustriales o excrementos animales hasta 6-8 ton/día (EarthGreen Colombia, 2011). A continuación en la Tabla 1, se presentan las principales características del equipo compostador EARTH GREEN SAC 100.

Tabla 1. Compostador Earth Green SAC 100

FICHA TECNICA SAC-100	
Capacidad en litros	100
Capacidad en peso (kilos)	50
Capacidad carga diaria en litros	3
Capacidad de carga diaria en kilos (25 días de compostaje	1,5
Capacidad en personas para 0,2 kg/persona/día	7 u 8
Capacidad en viviendas 4 personas /vivienda	2
Obtención aproximada mensual de compost en kilos	20
Peso del compostador en kilos	8
Medidas (diámetro x alto en metros)	0,4 x 0,8 m
Material: polietileno de alta densidad	
Uso: Parcelación, casa-finca, apartamento, hotel y restaurantes pequeños.	

Fuente: (Earth Green, Colombia).

4.1.2 Bokashi

El Bokashi es un abono fermentado que se obtiene procesando materiales que son producto de actividades agrícolas (residuos orgánicos, estiércol, cascarilla de arroz, carbón orgánico, etc.), y que pueden ser utilizados y sustituidos según la disponibilidad que exista en la región. Esto lo convierte en una actividad práctica y de gran beneficio para el agricultor que quiere aprovechar todos los recursos con los que cuenta en el campo. (Cabrera, 2011) La producción de abono tipo Bokashi es una práctica que fortalece los procesos de producción de los agricultores porque se produce más invirtiendo menos, al tiempo que recupera el suelo y mantiene por más tiempo la humedad. A continuación se describen algunas ventajas del abono tipo Bokashi:

- ✓ Ayuda a la economía del agricultor, debido al bajo costo de su elaboración.
- ✓ Contribuye a obtener mejores resultados en la cosecha.
- ✓ Recupera el suelo y mantiene por más tiempo la humedad.
- ✓ El agricultor obtiene abono de buena calidad en 18 días. (Cabrera, 2011)

Hay diversas formas de procesar todo tipo de residuos de plantas y animales. Para acelerar o potenciar su uso como abonos orgánicos, sólidos o líquidos. No aprovechar estos recursos es equivalente a desperdiciar una gran cantidad de dinero, que en las condiciones actuales de un agricultor pequeño o mediano es un error. (Picado & Añasco, Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos., 2005)

Estos son algunos ejemplos de materias primas:

- Desechos vegetales: hojas, ramas, flores, frutos, semillas, tusas, olotes, cascaras y cascarillas.
- Cenizas de maderas blancas y de bagazo entre otras.
- Residuos orgánicos.
- Desechos animales como plumas, cascos, cuernos, estiércol.
- Carbón orgánico.
- Melaza.

Para aprovechar de manera más eficiente los nutrientes que se encuentran en los estiércoles, es conveniente procesarlos en aboneras protegidas de las condiciones ambientales que las puedan afectar. Debe evitarse el estiércol proveniente de animales enfermos, porque sus patógenos pueden afectar la salud humana. Tampoco se debe usar para técnicas de compostaje el estiércol contaminado con desparasitantes o con herbicidas. (Picado & Añasco, Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos., 2005)

El estiércol expuesto al sol, la lluvia y el viento, pierde de un 50% a un 60% de su riqueza.

A continuación en la Tabla 2, se presentan las principales propiedades de diferentes estiércoles animales.

Tabla 2. Nutrientes en estiércoles y otros subproductos de varias especies animales

ESPECIE	HUMEDAD (%)	NITRÓGENO (%)	FÓSFORO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)
Vaca (*)	83,2	1,67	1,08	0,56		
Caballo (*)	74,0	2,31	1,15	1,30		
Oveja (*)	64,0	3,81	1,63	1,25		
Llama (*)	62,0	3,93	1,32	1,34		
Vicuña (*)	65,0	3,62	2,00	1,31		
Alpaca (*)	63,0	3,60	1,12	1,29		
Cerdo (*)	80,0	3,73	4,52	2,89		
Gallina (*)	53,0	6,11	5,21	3,20		
Conejo (**)	— -	2,40	1,40	0,60		
Lombriabono de vacuno (**)	— -	1,80	2,27	0,95	6,23	0,66
Lombriabono de Conejo (**)	— -	1,76	2,95	1,18	7,29	0,97
Lombriabono de oveja (**)	— -	1,92	3,89	0,79	5,98	0,80
Harina de sangre (**)	— -	1,50	1,30	0,70		
Harina de huesos (**)	— -	2,0-4,0	22-25			

Fuente: (Picado & Añasco, Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos., 2005)

El bokashi es un tipo de compost que necesita de oxígeno debido a sus características para su supervivencia y calidad. Los microorganismos que habitan en él necesitan de aireación inyectada durante por lo menos los primeros 8 días de compostaje, para tal fin se realizan volteos diarios del compost.

El sitio donde se emplazará el bokashi deberá ser un sitio despejado pero con techo, en donde sea protegido del sol y la lluvia, deberá ser ubicado sobre una superficie resistente sobre la cual sea posible realizar los volteos correspondientes sin pérdida del abono ni mezcla con otros compuestos.

4.2 Factores Que Condicionan El Proceso De Compostaje.

4.2.1 Temperatura

Depende de la actividad microbiológica y de la mezcla de los materiales; si la mezcla es buena, a las 14 horas de iniciado el proceso la temperatura debe subir. Una temperatura de 50°C es un buen indicador. Si aumenta a más de 70°C es demasiado y se debe enfriar, volteando la mezcla homogéneamente y con la agregación de pequeñas cantidades de agua

a tal punto que la mezcla quede con textura húmeda. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos benéficos para el proceso mueren y otros no actúan. (Picado & Añasco, Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos., 2005)

La temperatura es un factor al cual se le debe hacer un seguimiento diario en los dos métodos mediante el uso de un termómetro de suelo.

A continuación en la Gráfica 1, se pueden observar las diferentes fases del compost en términos de la temperatura y en función del tiempo.

Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura a lo largo de las fases del compostaje.



Fuente: (UDC, 2009)

4.2.2 Humedad

Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso. Algunos autores (Haug, 1993; Madejón y col, 2002; Jeris y col, 1973) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en el compostaje y ha sido calificada como un importante criterio para la optimización del compostaje. (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

La importancia de una humedad apropiada fue demostrada por Shulze (1962). Este autor estudió la variación de la cantidad de oxígeno consumido por una masa inicial durante el

compostaje, en un reactor cerrado a una temperatura constante, en función de la humedad. Pequeñas variaciones de humedad provocaban grandes cambios en la temperatura.

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa (Miyatake y col., 2006), para que permita la circulación tanto del oxígeno (ya que el proceso debe desarrollarse en condiciones aerobias), como la de otros gases producidos en la reacción. (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan olores ofensivos y disminuye la velocidad del proceso.

El exceso de humedad puede ser reducido con una mayor aireación (Haug, 1993). A su vez, con un buen control de la humedad y de la aireación, puede llevarse a cabo el control de la temperatura. Esto es debido a que durante el proceso de compostaje se debe llegar a un equilibrio entre los huecos entre partículas (de tamaño variable) que pueden llenarse de aire o de agua. Por lo tanto, la humedad óptima depende del tipo de residuo; así se ha encontrado que, para la paja de cereales está entre 75 y 85%, para astillas de madera entre 75 y 90% y para residuos sólidos urbanos (RSU) entre 50 y 55% (Haug, 1993). (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

4.2.3 pH

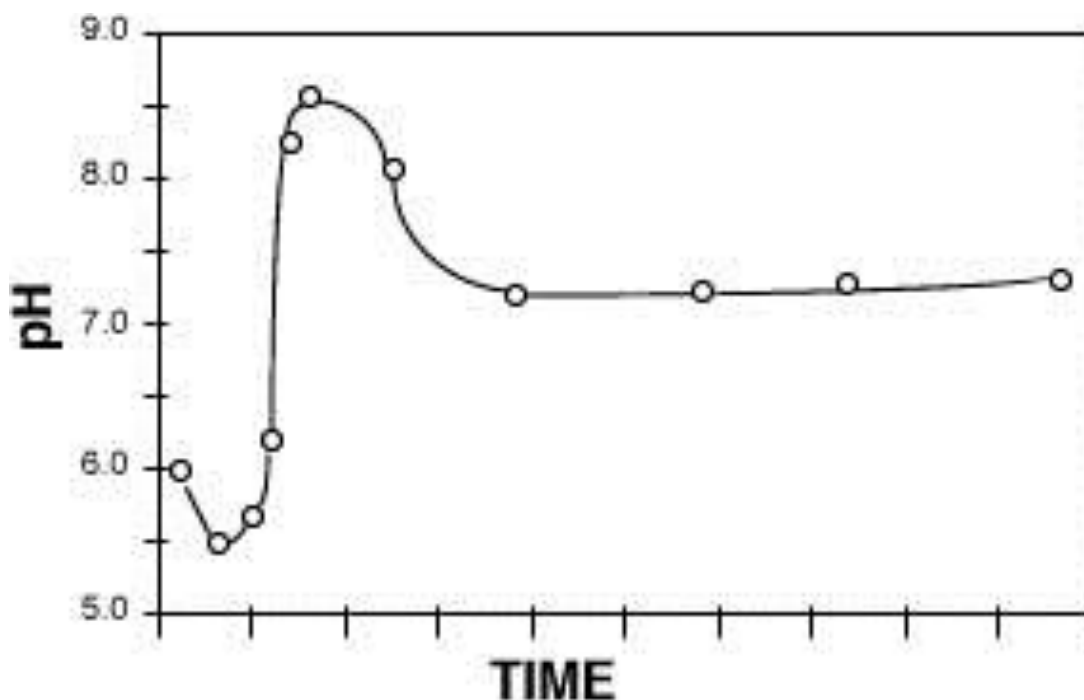
El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En muchos trabajos se usa esta variable para estudiar la evolución del compostaje. Sin embargo, su medida, que se realiza en el laboratorio sobre el extracto acuoso de las muestras tomadas en las pilas, es sólo una aproximación del pH “in situ” (Sundberg y col, 2004). Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH.

Según algunos autores la evolución del pH en el compostaje presenta tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más sencilla de degradar, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Eventualmente, esta bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formarán aún más cantidad de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero, 2001). Y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón. Suler y col (1977) establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son

indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron las relaciones pH, aireación-microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición. (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

En la Gráfica 2 presentada a continuación se presenta el comportamiento del pH en las diferentes fases del compostaje, en función del tiempo.

Gráfica 2. Comportamiento del pH a lo largo de las fases del compostaje.



Fuente: (Ohio, 2003)

4.2.4 Aireación

Para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinici y col, 2004).

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlemaier, 1996). El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente

reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006). La aireación es una variable de operación muy importante y la que más incide en los costes de operación, ya que suponen el 32-46% de los costes totales. La medida de la concentración de oxígeno requiere equipos costosos, pero puede también realizarse de una manera indirecta mediante las medidas de temperatura y humedad (Kulcu y col, 2004).

Durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Tomati y col., 2000). (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

4.2.4.1 Volteo

El proceso de volteo fue necesario únicamente para la técnica Bokashi. Una vez constituida la pila de compost la única gestión necesaria es el volteo o mezclado manual. Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso. Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado. (Emison, 2009)

4.2.4.2 Espacio De Aire Libre.

Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para satisfacer las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que el agua es el medio de transporte tanto de las sustancias que sirven de alimento a las células, como de los productos de deshecho de la reacción (Hoitink y col., 1995). La humedad (contenido en agua) de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa y permita la circulación tanto del oxígeno (ya que el proceso debe desarrollarse en condiciones aeróbicas), como de otros gases producidos en la reacción.) (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011).

4.2.5 Relación Carbono-Nitrógeno

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar y col, 1991). La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido carbónico) es necesaria la aparición sucesiva de diversas especies microbianas.

Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. Si el residuo tiene una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible realmente para los microorganismos es menor y el proceso evolucionará rápidamente, pero afectará sólo a una proporción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso.

La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando C/N mayor a 20, aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente. Si los productos que se compostan poseen una relación C/N baja (inferior a 18-19), el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez (Golueke y col., 1987; Zhu, 2006), pero se desprende como amoníaco el exceso de N, produciéndose una autorregulación de la relación C/N (Jhorar y col, 1991). Estas pérdidas, si bien no afectan negativamente al compostaje, suponen un derroche, porque el N es el nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental (Hedegaard y col, 1996) ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero. Al tener la relación C/N una gran dependencia de la riqueza inicial de N, un valor concreto de C/N no refleja el estado de madurez de un compost, por lo que es más indicado seguir la evolución de C/N del proceso o calcular la diferencia entre los valores iniciales y finales. (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

4.2.6 Materia Orgánica

La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental. La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (Kiehl, 1985). Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas (por ejemplo las proteínas en aminoácidos y estos en amoníaco) para poder ser asimiladas (Castaldi y col, 2005). Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano.

El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N.

El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Se comprueba que, en

general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a compostar (Díaz y col, 2004, Michel y col., 2004).

Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Miyatake y col., 2006). (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011)

4.2.7 Nutrientes.

La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental. La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (Kiehl, 1985). Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas (por ejemplo las proteínas en aminoácidos y estos en amoníaco) para poder ser asimiladas (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011).

Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Bueno, Diaz, & Cabrera, 2011).

4.3 Fases del compostaje

4.3.1 Fase Mesófila

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días). (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

4.3.2 Fase Termófila

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Igualmente, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, Esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado. (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

4.3.3 Fase Mesófila II Enfriamiento

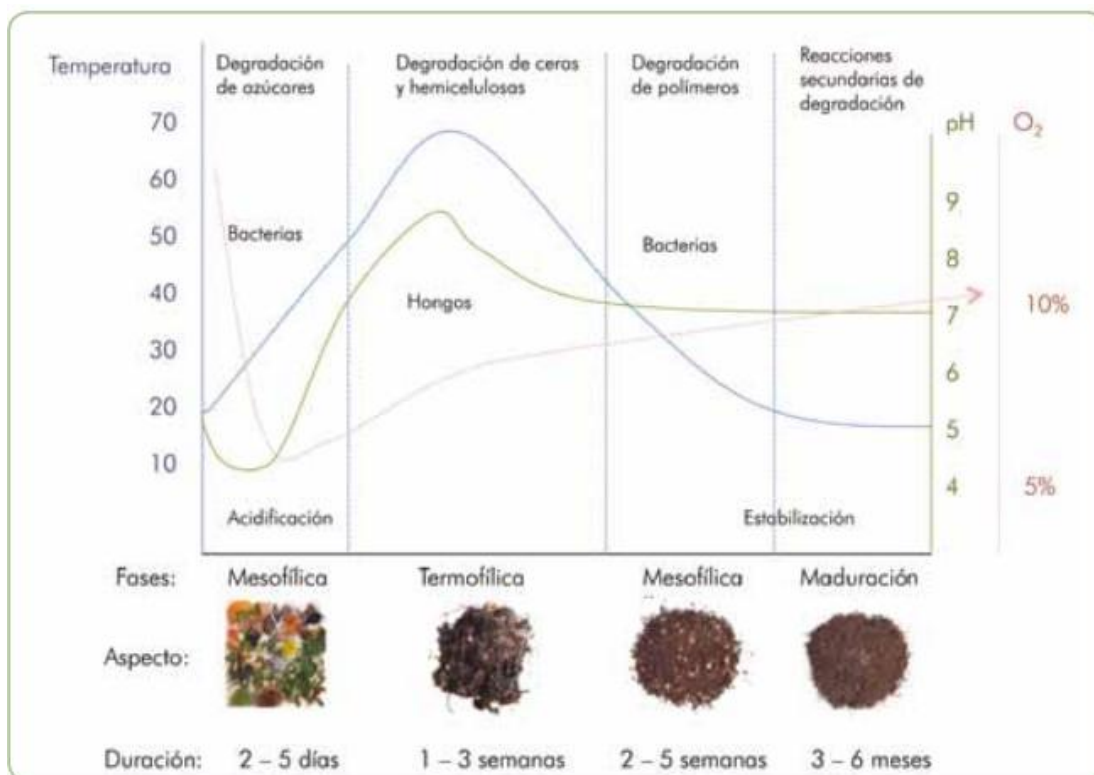
Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013).

4.3.4 Fase de Maduración

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013).

A continuación en la Ilustración 1, se presenta el comportamiento del pH, la temperatura y la humedad a lo largo de todas las fases que sufre el compost, en función del tiempo.

Ilustración 1. pH, Temperatura y Oxígeno en el proceso de compostaje.



Fuente: (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

5. COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS ENVIADAS AL LABORATORIO (ECUACIÓN DE TCHOBANOUGLOUS).

5.1 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL RESTAURANTE DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CANDELARIA.

Producto de las actividades que se llevan a cabo en la cafetería de la Universidad de La Salle sede Candelaria, se producen diariamente residuos sólidos orgánicos con un alto potencial aprovechable. Los residuos que se generan en mayores proporciones, con un peso mayor y una frecuencia alta son los siguientes: Apio, brócoli, cebolla larga, cilantro, coliflor, espinaca, lechuga, limón, mango, melón, papa, papaya, pepino cohombro, piña, plátano, sandía y tomate; de acuerdo a aforos realizados mediante el método del cuarteo. Adicionalmente se generan restos vegetales en las actividades de poda árboles y corta de césped en la universidad. Estos se generan cada 15 días, mientras que los residuos sólidos orgánicos de la cafetería, como ya se dijo; diariamente (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015).

5.2 COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS.

Para establecer las cantidades necesarias de cada componente, tanto de la técnica BOKASHI, como para el compostador EARTH GREEN SAC 100; es necesario involucrar la ecuación de Tchobanoglous para una relación C/N de 25:1 en cada una de los métodos de obtención de compost.

Ahora bien, se procedió a enviar dos muestras de 1 Kg cada una a análisis en el laboratorio “Doctor Calderón”, el cual es certificado por el ICA, para proceder a la implementación de la técnica BOKASHI con una relación C/N de 25:1, ya que como se evidenció en el marco teórico, dicho método de compostaje no cuenta con especificaciones técnicas para el buen desarrollo de la misma, haciendo de ella una forma empírica de compostaje de diferentes residuos. Dicha relación C/N se escoge, sabiendo que según (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015), es la que arroja un compost con mejores características, mediante la técnica tradicional y con la ayuda del compostador EARTH GREEN SAC 100, por tanto para comparar los dos procedimientos, se requiere hacerlo bajo la misma condición técnica de relación C/N y las ambientales, por lo que el proceso de compostaje con dicho equipo se re-implementó siguiendo al pie de la letra las especificaciones objetadas por las autoras anteriormente mencionadas.

Por lo tanto, se llevó a cabo la composición de dichas muestras de la siguiente manera (ver Tabla 3 y Tabla 4). Cabe resaltar que las muestras enviadas fueron exclusivamente para llevar a cabo la implementación de la técnica BOKASHI, puesto que para el equipo compostador ya se contó con los datos expresados según (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015).

Tabla 3. Composición de la muestra 1 (1Kg).

MUESTRA 1 (CONTENIDO DE CARBONO).	
Componente	Composición Kg
Carbón	0,333
Cascarilla de arroz	0,333
Papel Bond	0,333

Fuente: Autores.

Esta composición se estableció teniendo en cuenta que estos son los componentes que le aportaron carbono a la mezcla; el carbón y la cascarilla de arroz son ingredientes propios del BOKASHI y el papel, aunque no lo compone teóricamente; se trató de utilizar los demás residuos que se involucraron en el otro estudio experimental desarrollado por (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015). Por lo tanto, como se trataba de tres componentes, no se quiso hacerle mayor proporción a ninguno de ellos, aun sabiendo que cualquiera, si bien podría aportarle una fracción de carbono más alta; dichas cantidades fueron las mismas buscando el aporte de los tres en proporciones iguales.

Tabla 4. Composición de la muestra 2 (1Kg).

MUESTRA 2 (CONTENIDO DE NITRÓGENO).	
Componente	Composición Kg
Gallinaza	0,50
Resol orgánicos	0,35
Restos vegetales (poda de árboles y corte de césped)	0,15

Fuente: Autores.

La composición de la muestra 2 se hizo teniendo en cuenta que se trataba únicamente de dos tipos de residuos que le aportaron nitrógeno al compost. Uno de ellos fue la gallinaza, en una proporción del 50% de la mezcla; la cual fue escogida debido a que es el estiércol que aporta mayores proporciones de nitrógeno que cualquier otro. (Picado & Añasco, Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos., 2005). Adicionalmente, se compuso de los residuos orgánicos que se generan en el restaurante y los restos vegetales de poda de árboles y corta de césped, los dos sumando una proporción del 50%. Cabe

resaltar que la fracción de residuos que se generan en la universidad se compuso teniendo en cuenta que los restos vegetales se producen cada 15 días y al necesitar estos residuos recién cortados, es una limitante para utilizarlos en la técnica del compostaje, por esta razón los residuos orgánicos de la cafetería tiene un mayor porcentaje ya que se generan diariamente (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015). Es decir, sabiendo que son 17 residuos diferentes que se generan en la cafetería de la universidad con mayor frecuencia y mayor peso, los cuales fueron nombrados en el apartado anterior; de cada uno se incluyeron 0,0206 Kg para un total de 0,350 Kg de residuos sólidos orgánicos generados en el restaurante más 0,075 Kg de hojas secas y 0,075 Kg de césped podado.

A cada una de las muestras se les hizo análisis de humedad, nitrógeno total, carbono orgánico oxidable y la relación C/N, en el laboratorio “Doctor Calderón”.

6. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE TCHOBANOGLIOUS.

Los resultados obtenidos de las muestras enviadas al laboratorio se presentan a continuación en la Tabla 5 y Tabla 6. A partir de tales datos, se procedió a reemplazarlos en la ecuación de Tchobanoglous, consiguiendo las proporciones de cada uno de los componentes, para conservar en los métodos de obtención de compost la relación C/N de 25:1 deseada. Los resultados originales obtenidos del laboratorio “Doctor Calderón”, se pueden observar en el ANEXO 1.

Tabla 5. Resultados de laboratorio de la muestra 1.

Muestra 1. Composición Carbono		
Humedad	6,09	%P/P
Nitrógeno total	0,45	%P/P
Carbono orgánico oxidable total	20,57	%P/P
Relación C/N	45,63	NA

Fuente: Laboratorio “Doctor Calderón”.

Tabla 6. Resultados de laboratorio de la muestra 2.

Muestra 2. Composición Nitrógeno		
Humedad	46,21	%P/P
Nitrógeno total	1,42	%P/P
Carbono orgánico oxidable total	15,86	%P/P
Relación C/N	11,17	NA

Fuente: Laboratorio “Doctor Calderón”.

Con el fin de determinar la composición porcentual para implementar la técnica BOKASHI basados en la muestra 1 y la muestra 2, se realizaron los siguientes cálculos:

Para 1 Kg de la muestra 1, la cual le aportará Carbono al BOKASHI:

$$\begin{aligned}\text{Agua} &= 1\text{kg} * (0.0609) = 0.0609 \text{ kg} \\ \text{Materia Seca} &= 1\text{kg} - (0.0609) = 0.9391 \text{ kg} \\ \text{Nitrógeno} &= 0.9391 \text{ Kg} * (0.0045) = 0,004225\text{Kg} \\ \text{Carbono} &= 45,63 * (0,004225) = 0,19278 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Para 1 Kg de la muestra 2, la cual le aportará Nitrógeno al BOKASHI:

$$\begin{aligned}\text{Agua} &= 1\text{kg} * (0.4621) = 0.4621 \text{ kg} \\ \text{Materia Seca} &= 1\text{kg} - (0.4621) = 0.5379 \text{ kg} \\ \text{Nitrógeno} &= 0.5379 \text{ Kg} * (0.0142) = 0,007638 \text{ Kg} \\ \text{Carbono} &= 11,17 * (0,007638\text{Kg}) = 0,08531\text{Kg}\end{aligned}$$

Se estableció por medio de la ecuación de Tchobanoglous la cantidad de residuos necesarios de la muestra 1 (Carbono), para compostar 1 Kg de la muestra 2 (Nitrógeno) para obtener una relación C/N de 25:1 y se calculó la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{N} = 25 = \frac{(0,19278\text{Kg} + X (0,08531\text{Kg}))}{(0,004225\text{Kg} + X(0,007638\text{Kg}))}$$

$$\begin{aligned}25(0,004225\text{Kg} + X (0,007638\text{Kg})) &= 0,19278\text{Kg} + X (0,08531\text{Kg}) \\ 0,10562\text{Kg} + X (0,19095)\text{Kg} &= 0,19278\text{Kg} + X (0,08531\text{Kg})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,10562\text{Kg} - 0,19278\text{Kg} &= X (0,19095\text{Kg}) - X (0,08531)\text{Kg} \\ 0,08716\text{Kg} &= X 0,10564\text{Kg}\end{aligned}$$

$$X = \frac{0,08716\text{Kg}}{0,10564\text{Kg}}$$

$$X = 0,8260\text{Kg}$$

Para lo que se mostrará a continuación, se tuvo en cuenta los ingredientes de cada una de las técnicas de compostaje, debidamente pesados, según las proporciones ya establecidas en las muestras preliminares enviadas al laboratorio y las mencionadas en el proyecto de grado titulado “Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en la Universidad de La Salle sede centro mediante el compostador Earth Green SAC – 100”, elaborado por (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015).

Ilustración 2. Residuos sólidos orgánicos separados.



Fuente: Autores.

Sabiendo que los residuos sólidos orgánicos procedentes de la cafetería son el denominador común más importante de los dos métodos, fue necesario separar los que se necesitaron para la consecución del presente estudio. En la Ilustración 2 se puede observar la segregación de cada tipo de residuo, para poder pesarlo según sea el caso, para cada técnica de compostaje.

6.1 IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA BOKASHI.

La técnica se implementó el día 24 de agosto 2015, en las instalaciones de la Universidad de La Salle, sede Candelaria. Ahora bien, luego de conocer la cantidad de residuos necesarios de la muestra 1 (Carbono), para compostar 1 Kg de residuos de la muestra 2 (Nitrógeno) con una relación C/N de 25:1 por medio de la técnica BOKASHI; es necesario explicar las proporciones que se tuvieron en cuenta para cada uno de los residuos, incluyendo el carbón, la cascarillas de arroz, el papel, la gallinaza, los residuos sólidos orgánicos del restaurante y los residuos vegetales de poda de árboles y corte de césped.

La técnica BOKASHI se implementó queriendo compostar 3 Kg de la muestra 2 (Nitrógeno), para lo cual fueron necesarios 2,49 Kg de la muestra 1 (Carbono), para un total de 5,49 Kg de BOKASHI. Lo mencionado anteriormente se puede evidenciar de forma más clara en la Tabla 7, presentada a continuación.

Tabla 7. Pesos de cada componente para implementar la técnica BOKASHI.

Muestra 1 (Carbono).	
Componente	Peso (Kg).
Carbón	0,83
Cascarilla de arroz	0,83
Papel Bond	0,83
Muestra 2 (Nitrógeno).	
Componente	Peso (Kg).
Resol orgánicos	1,05
Gallinaza	1,5
Restos vegetales (poda de árboles y corte de césped)	0,45
Total	5,49

Fuente: Autores.

Respecto a la tabla anterior, es posible mencionar que las cantidades se establecieron de acuerdo a las mismas proporciones porcentuales dispuestas en las muestras enviadas al laboratorio, variando únicamente el peso de cada componente. Es decir, en cuanto a los residuos sólidos orgánicos procedentes del restaurante, sabiendo que los mismos son 17 en su totalidad, de cada uno se pesaron 0,0618 Kg, para un total de 1,05 Kg de dichos residuos. Igualmente, en cuanto a los restos de poda de árboles y corte de césped, de cada uno se dispusieron 0,225 Kg, para un total de 0,450 Kg, adicionando finalmente 1,5 Kg de gallinaza.

Por otro lado, sabiendo que la técnica BOKASHI es una mezcla de componentes; la implementación de la misma se efectuó siguiendo el orden establecido por (Picado & Añasco, CEDECO, 2005), y con sus mismos componentes iniciales, para posteriormente adicionar dicha mezcla y combinarla con los demás residuos que no hacen parte de la técnica, como el papel bond y los restos vegetales de poda de árboles y corte de césped. Para los efectos de lo mencionado, se puede observar la Ilustración 3, en la cual se puede evidenciar la combinación de la cascarilla de arroz, el carbón, los residuos sólidos orgánicos del restaurante y la gallinaza.

Ilustración 3. Mezcla BOKASHI



Fuente: Autores.

Luego de tener todos los componentes debidamente mezclados, es necesaria la adición de agua para lograr una humedad del 50% aproximadamente, la cual se puede vigilar a través de pruebas organolépticas (Picado & Añasco, CEDECO, 2005). Posteriormente se le agregó los demás componentes y residuos faltantes.

Ilustración 4. Mezcla final técnica BOKASHI.



Fuente: Autores.

Finalmente, como se puede apreciar en la Ilustración 4 se obtuvo el agregado de la mezcla bokashi como tal, con el resto de residuos. Cabe resaltar que a la técnica se le realizaron volteos diarios, durante los primeros 8 días hábiles de la fase de compostaje. Todo lo anterior se llevó a cabo a la par con la toma de datos de pH y temperatura. Posteriormente, sólo se hizo vigilancia a la generación de lixiviados, los cuales se controlaron mediante una capa semipermeable que dejaba pasar dichos líquidos a través de la misma hasta un grueso estrato de aserrín que se ubicaba en el fondo de la compostera. Dicho procedimiento se efectuó como se aprecia en la Ilustración 5, presentada a continuación.

Ilustración 5. Control de lixiviados técnica BOKASHI.



Fuente: Autores.

6.2 CARGA DEL COMPOSTADOR EARTH GREEN SAC 100.

Sabiendo que las técnicas objeto de este estudio serán comparadas bajo las mismas condiciones técnicas (relación C/N) y ambientales; se pretende reanudar el método de compostaje mediante el equipo EARTH GREEN SAC 100 que ya estuvo en funcionamiento en las instalaciones de la universidad. Para lo cual no fue necesario efectuar el procedimiento llevado a cabo para implementar la técnica BOKASHI, pues los datos requeridos en cuanto a proporciones de cada residuo, ya están especificados en el proyecto de grado mencionado. Por lo tanto este apartado está totalmente dirigido a mostrar los datos que se obtuvieron en dicho estudio, con el objeto de re-implementar dicha técnica, para una relación C/N de 25:1.

Según el modelo del compostador SAC - 100 la carga para 25 días de compostaje es de 1,5 Kg, debido a que en este estudio experimental la técnica del compostaje duró 30 días; la carga del mismo fue de 1,8 Kg, los cuales se distribuyeron como se aprecia en la Tabla 8. Por otro lado, teniendo en cuenta que por tres partes en volumen de residuos orgánicos se debe mezclar una parte de aserrín, el aserrín necesario para 1,8 Kg fue de 0,6 Kg, por lo tanto la carga diaria en total fue de 2.51 Kg. (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015).

Tabla 8. Pesos de cada componente para el compostador EARTH GREEN SAC 100.

EARTH GREEN SAC 100	
Componente	Peso (Kg)
Resol orgánicos	1,26
Restos vegetales (poda de árboles y corte de césped)	0,54
Papel Bond	0,11
Aserrín	0,6
Total	2,51

Fuente: (Montealegre Garzón & Loaiza Cordero, 2015).

En primer lugar, fue necesario colocar dentro del compostador una gruesa capa de aserrín, con el objeto de controlar los lixiviados que se generen. Posterior a esto se llevó a cabo el debido pesaje de cada uno de los componentes del compost a obtener, de acuerdo a la tabla relacionada anteriormente. Por tal razón, trayendo a colación nuevamente los 17 residuos sólidos orgánicos diferentes en cuestión, usados en el estudio; de cada uno de ellos se agregó 0,0741 Kg, para un total de 1,26 Kg, como se observa en la tabla. Adicionalmente, se añadieron 0,27 Kg de restos vegetales de poda de árboles y 0,27 Kg de restos vegetales de corte de césped.

En la siguiente Ilustración 6 se puede evidenciar la capa de aserrín inicial que se mencionó anteriormente, en la fotografía que se presenta a la izquierda y la adición de los demás ingredientes necesarios para obtener el compost mediante el equipo EARTH GREEN SAC 100, fotografía que se ilustra a la derecha.

Ilustración 6. Re-implementación compostador EARTH GREEN SAC 100



Fuente: Autores.

Ahora bien, luego de agregar todos los ingredientes en cada una de sus proporciones; se procedió a adicionar una nueva capa de aserrín en la parte superior, puesto que se le hicieron dos cargas al mismo, con las mismas cantidades y proporciones de los mismo componentes. Dicha carga se llevó a cabo pasados 7 días, luego de la primera carga realizada, obteniendo un total de 5,02 Kg de materiales en proceso de compostaje.

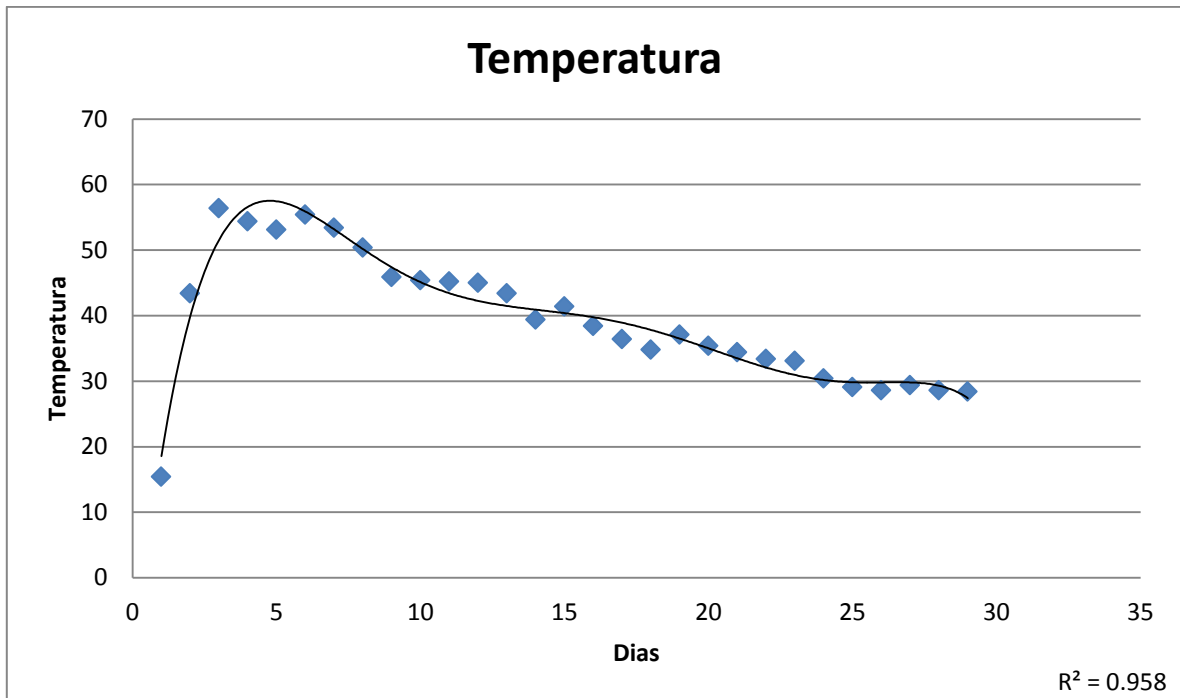
7. CURVAS DE pH Y TEMPERATURA

La toma de datos de pH y temperatura, se hizo de manera diaria y regular durante toda la fase de compostaje de las dos técnicas, puesto que son parámetros sumamente importantes para controlar la actividad microbiana, y por tanto la degradación de la materia orgánica. A continuación se presentan las curvas de pH y temperatura para cada una de las técnicas de compostaje en cuestión.

7.1 EQUIPO EARTH GREEN SAC 100.

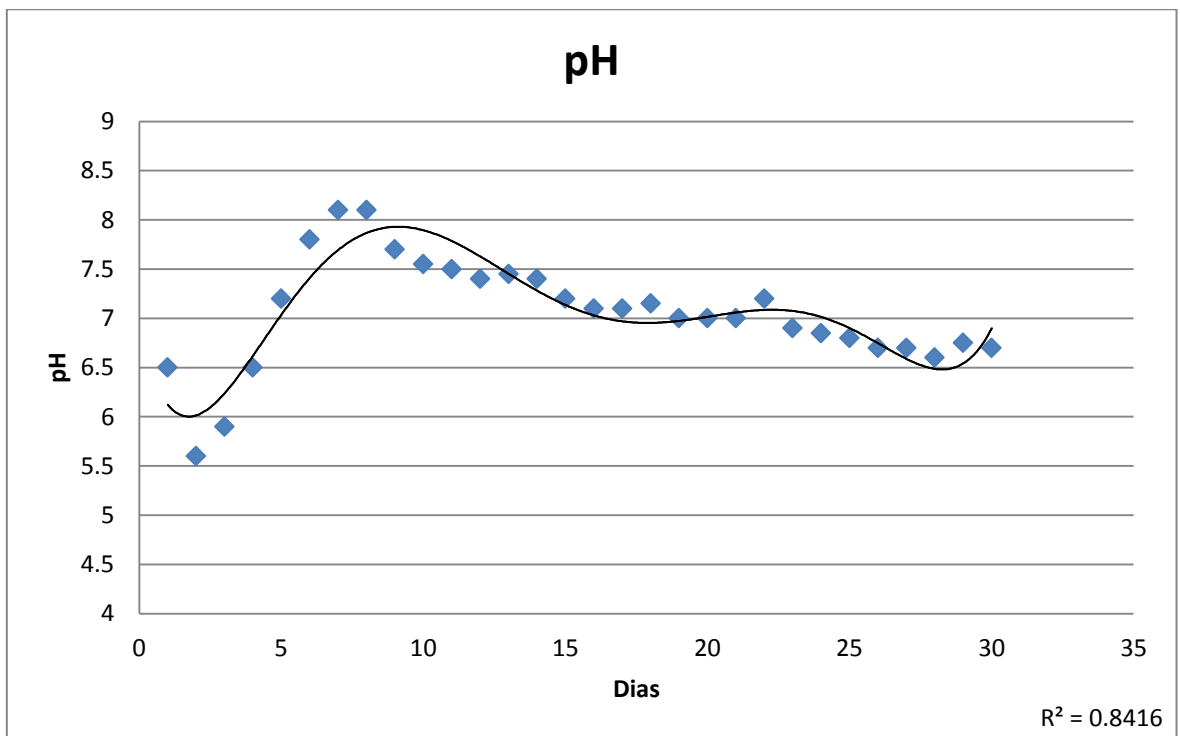
Las curvas de temperatura y pH obtenidas del compostaje mediante el equipo EARTH GREEN SAC 100, se presentan a continuación en la Gráfica 3 y Gráfica 4 respectivamente.

Gráfica 3. Curva de temperatura equipo EARTH GREEN SAC 100.



Fuente: Autores.

Gráfica 4. Curva de pH equipo EARTH GREEN SAC 100.



Fuente: Autores.

Las gráficas de las dos curvas anteriores dan cuenta de la actividad microbiana, guardando estricta relación entre las dos; permitiendo resaltar que las mismas dan la posibilidad de identificar las fases normales que sufrió el compost a lo largo de su producción. En primer lugar, al comenzar el compostaje, se da por iniciada la fase mesófila en donde el pH estuvo entre 4,5 y 5,5 unidades y a temperatura ambiente prácticamente.

Para este caso concreto, se registró en el primer día de compostaje una temperatura de 15°C y 6,5 unidades de pH, para después indicar un par de valores bajos entre el día dos y tres, empezando a aumentar el mismo hasta casi 8 unidades, pasados los cinco días; es decir, se puede afirmar que dicha fase mesófila registró un tiempo aproximado de entre 5 y 6 días después de implementada la técnica, es decir, la siguiente fase termófila arrancó con el aumento de dichos valores de pH y temperatura. Esto se puede corroborar en la curva de temperatura, pues entre el tercer y el quinto día, se registraron los valores más altos entre los 55°C, dando por iniciada tal etapa.

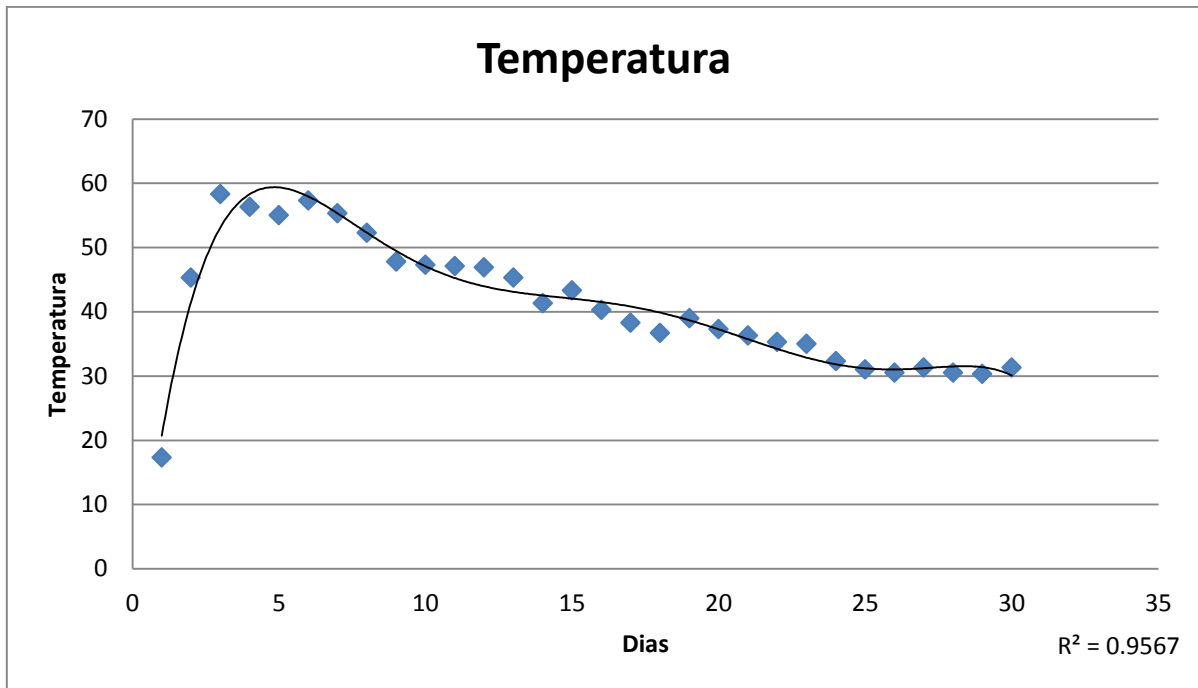
Posterior a esto, se logra evidenciar una disminución leve y regular de la temperatura a partir del sexto día, a la par con la estabilización proporcional de los valores de pH, los cuales registran valores promedio de 7,5 unidades a lo largo de toda la fase de compostaje. Entre el día diez y el 21, siguió descendiendo de forma continua la temperatura y a partir del día 22 hasta el 30, se registraron valores por debajo de 30°C, señalando la fase termófila de enfriamiento, hasta el día en que finalizó la fase normal de compostaje, para darle paso a la de maduración. Es importante resaltar, que de acuerdo a la teoría y basados en los resultados anteriormente mencionados; el compost producto del equipo compostador EARTH GREEN SAC 100, cumple satisfactoriamente con las etapas normales que este sufre a lo largo de todas sus fases.

.

7.2 TÉCNICA BOKASHI.

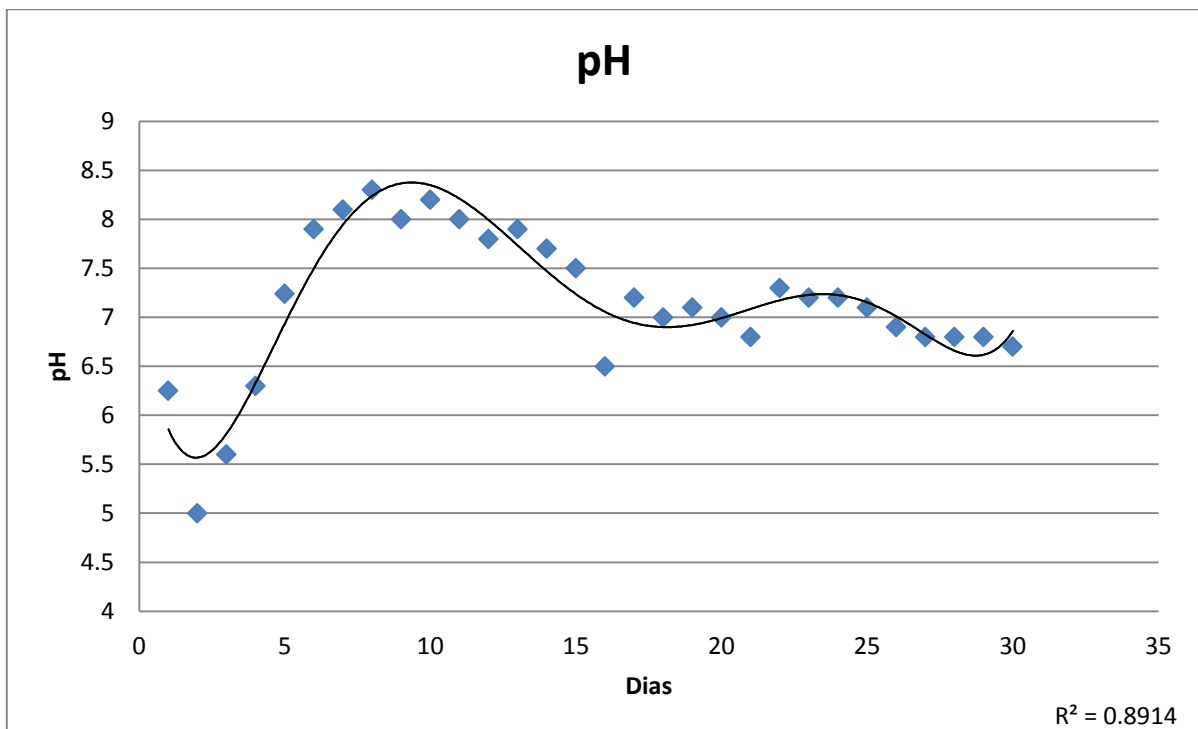
Las curvas de temperatura y pH obtenidas del compostaje mediante la técnica BOKASHI, se presentan a continuación en la Gráfica 5 y Gráfica 6 respectivamente.

Gráfica 5. Curva de temperatura técnica BOKASHI.



Fuente: Autores.

Gráfica 6. Curva de pH técnica BOKASHI.



Fuente: Autores.

Ahora bien, respecto a la técnica Bokashi se puede evidenciar que la temperatura más baja fue de 17°C registrada el primer día, dando por iniciada la fase mesófila; para darle paso posteriormente al incremento normal de la misma a partir del segundo día, hasta alcanzar los valores más altos entre el tercer y sexto día, con valores aproximados de 57°C.

Dicho comportamiento se constata con los valores de pH, que aunque hacia el primer día se registró un valor relativamente alto, se puede observar en la gráfica que tales valores bajan a 5 unidades, y se registran los más bajos entre los días tres y seis, para darle paso al aumento continuo del pH hasta 8 unidades; comenzando entonces la fase termófila en donde se alcanzan los valores más altos tanto para el pH como para la temperatura. Dicha fase consta de un comportamiento relacionado entre tales parámetros hacia el sexto día de compostaje.

Posteriormente hacia el décimo día, la temperatura comienza a descender de forma leve y regular, manteniéndose entre los 45°C y 35°C hasta el día 20, mientras que el pH comienza a estabilizarse con valores promedio de 7 unidades, registrando un valor bastante bajo el día 16. Ahora bien, al comenzar la fase termófila de enfriamiento a partir del días 21 y 22, se logra observar la disminución continua de la temperatura hasta alcanzar un valor de 30°C el día en que finaliza la etapa de compostaje. Igualmente sucede con el pH, que sigue relativamente estable con valores promedio de 7 unidades, hasta finalizar en el día 30.

Cabe resaltar que el compost producto de esta técnica, cumple con las etapas normales de compostaje.

8. ETAPA DE MADURACIÓN DEL COMPOST.

Pasados los 30 días de la fase de compostaje, se procedió a retirar el compost producto del equipo EARTH GREEN SAC 100 y el obtenido de la técnica BOKASHI; posteriormente fueron colocados en canastillas, permitiendo una fácil aireación. Dicha etapa inicialmente estuvo pactada que durara 10 días, comenzando el día 24 de septiembre, hasta el 4 de octubre; sin embargo, por efectos logísticos y de calendario, la fase de maduración contó con un tiempo de 12 días. En esta etapa la temperatura disminuyó de forma continua hasta asemejarse a la del ambiente, esto se produce por la disminución de las poblaciones de microorganismos haciendo que el pH del compost oscile entre 7 y 8 unidades.

A continuación en la Ilustración 7, se logra evidenciar lo nombrado anteriormente; al costado izquierdo de la ilustración el compost producido en el equipo EARTH GREEN SAC 100, y al lado derecho el obtenido de la técnica BOKASHI. Igualmente, es apreciable a simple vista el contenido de humedad de cada uno, dejando ver claramente que el BOKASHI mantuvo a lo largo de toda su fase de compostaje, una humedad aproximada del 50%, tal y como se nombró en el capítulo anterior.

Ilustración 7. Maduración del compost producto de las dos técnicas.



Fuente: Autores.

En las siguientes fotografías, se aprecia de manera diferenciada el estado inicial de cada uno de los compost obtenidos de las dos técnicas. En la Ilustración 8, se observa el BOKASHI, el cual posee un color café oscuro, indicando inicialmente un contenido orgánico importante, además hay que tener en cuenta que el contenido de humedad de este siempre fue relativo al 50% durante toda su fase de compostaje previa. La Ilustración 9, muestra el compost que se obtuvo del equipo EARTH GREEN SAC 100, dicha muestra posee un color café más claro que el BOKASHI, pero claramente más oscuro, si se compara con el color que poseía al inicio de la fase de compostaje, indicando el buen proceso de degradación que sufrió la fase orgánica que fue agregada a la mezcla a compostar.

Ilustración 8. Maduración compost técnica BOKASHI.



Fuente: Autores.

Ilustración 9. Maduración compost equipo EARTH GREEN SAC 100.



Fuente: Autores

8.1 TAMIZAJE DE LAS MUESTRAS DEL COMPOST.

En primer lugar, el tamizaje de las muestras del compost se llevó a cabo con el objeto de retirar las partículas más grandes que no tuvieron una degradación completa, y que aún permanecen relativamente grandes en comparación con el tamaño de la fracción que completó una degradación mayor y más importante.

Al tamizar dichas muestras obtenidas, luego del proceso de maduración; se logra obtener una muestra para analizar en el laboratorio “Doctor Calderón”, mediante parámetros establecidos en la NTC 5167/2011; pues se asume que se estudiará y comparará la porción neta que logró compostarse de manera más completa.

A continuación en la Tabla 9, se enuncian los diámetros de tamices utilizados en el proceso. Cabe resaltar, que se usaron las rejillas especiales para muestras de suelo.

Tabla 9. Diámetros de los tamices utilizados en el proceso.

Diámetro.	Unidad.
1	in
3/4	in
3/8	in
0.187	in
0.087	in

Fuente: Autores.

Posteriormente, luego del proceso y de obtener el compost objeto de análisis; se consolidaron dos muestras de 1 Kg de cada técnica, para que después fueran entregadas a pruebas de laboratorio certificadas por el ICA, para su revisión y estudio mediante parámetros establecidos en la NTC 5167/2011.

A continuación en la Ilustración 10, se puede observar los tamices utilizados en las pruebas de tamizaje efectuadas para cada tipo de compost. Entre tanto, en la Ilustración 11, se observa las dos muestras de compost obtenidas y que fueron enviadas a análisis en el laboratorio.

Ilustración 10. Tamices utilizados en el proceso.



Fuente: Autores.

Ilustración 11. Muestras enviadas al laboratorio del compost producto de las dos técnicas.



Fuente: Autores.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPOST PRODUCTO DE LAS DOS TÉCNICAS (MUESTRAS ENVIADAS A LABORATORIO).

Las muestras enviadas al laboratorio “Doctor Calderón” se analizaron bajo los parámetros requeridos por la NTC 5167/2011, la cual establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes (ICONTEC INTERNACIONAL, 2011). Por tal motivo la comparación se llevó a cabo teniendo en cuenta la misma relación C/N (25:1), similares condiciones ambientales al estar funcionando al tiempo y bajo los mismos requerimientos que establece la norma técnica colombiana, por lo que dicha comparación se hace objetiva.

9.1 RESULTADOS EQUIPO EARTH GREEN SAC 100.

A continuación, en la Tabla 10 y la Tabla 11 se presentan los resultados de laboratorio obtenidos luego de las pruebas realizadas en el laboratorio certificado por el ICA, junto con los valores establecidos por la NTC 5167/2011 para cada técnica de compostaje; para el compost producto del equipo EARTH GREEN SAC 100 y mediante la técnica BOKASHI, respectivamente. Los resultados originales obtenidos del laboratorio “Doctor Calderón”, se pueden observar en el ANEXO 2.

Tabla 10. Resultados del análisis del compost producto del equipo EARTH GREEN SAC 100.

Parámetro	Unidad	Valor	Valor NTC 5167-2011	Cumple /No cumple
Densidad aparente seca	g/cm ³	0.14	Max 0,6 g/cm ³	Cumple
pH en pastura saturada	-	8.54	4-9	Cumple
C.E en extracto de saturación	dS/m	2.99	-	No aplica
Humedad	%P/P	48.26	% *	Cumple
Cenizas	%P/P	9.68	Max 60%	Cumple
C.I.C	Meq/100g	39.72	Min 30Meq/100g	Cumple
Nitrógeno Total	%P/P	0.94	Reportarlo si es mayor al 1%	No requerido
K ₂ O Total	%P/P	0.88	Reportarlo si es mayor al 1%	No requerido
CaO Total	%P/P	1.94	-	No aplica
MgO Total	%P/P	0.17	-	No aplica
P ₂ O ₅ total	%P/P	0.25	Reportarlo si es	No requerido

			mayor al 1%	
Azufre	%P/P	0.03	-	No aplica
Sodio	%P/P	0.1	-	No aplica
C. Orgánico oxidable	%P/P	16.04	Min 15%	Cumple
Relación C/N	%P/P	13.84	-	No aplica
Retención de humedad	%P/P	17.07	Min 100 %	No cumple
Pérdida por volatilización	%P/P	42.06	%*	Cumple
SiO ₂ Total	%P/P	1.06	Max 50 % del contenido de cenizas	Cumple

Fuente: Autores.

*Según la NTC 5167-2011 las sumas en porcentaje de humedad, cenizas y pérdidas por volatilización debe ser igual a 100%. Dado lo anterior, en la muestra analizada los valores reportados corresponden a la suma: (48.26+9.68+42.06=100) dando cumplimiento a este requisito específico.

9.2 RESULTADOS TÉCNICA BOKASHI.

Tabla 11. Resultados del análisis del compost producto de la técnica BOKASHI.

Parámetro	Unidad	Valor	Valor NTC 5167-2011	Cumple/No cumple
Densidad aparente seca	g/cm3	0,200	Max 0,6 g/cm3	Cumple
pH en pasta saturada	N/A	8,24	4 a 9	Cumple
C. E en extracto saturación	dS/m	1,12	-	No aplica
Humedad	%P/P	55,13	%*	Cumple
Cenizas	%P/P	24,84	Max 60%*	Cumple
C. I. C	Meq/100g	17,84	Min 30 Meq/100g	No cumple
Nitrógeno total	%P/P	0,89	Reportarlo si es mayor al 1%	No requerido
K ₂ O total	%P/P	0,53	Reportarlo si es mayor al 1%	No requerido
CaO total	%P/P	1,78	-	No aplica
MgO total	%P/P	0,17	-	No aplica
P ₂ O ₅ total	%P/P	0,40	Reportarlo si es mayor al 1%	No requerido
Azufre	%P/P	0,02	-	No aplica
Sodio	%P/P	0,04	-	No aplica
C. Orgánico oxidable	%P/P	8,95	Min 15%	No cumple

Rel C/N	N/A	10,03	-	No aplica
Retención humedad	%P/P	74,14	Min 100%	No cumple
Pérdida por volatilización	%P/P	20,03	% *	Cumple
SiO ₂ total	%P/P	7,62	Max 50% del contenido de cenizas (12,42)	Cumple

Fuente: Autores.

*Según la NTC 5167-2011 las sumas en porcentaje de humedad, cenizas y pérdidas por volatilización debe ser igual a 100%. Dado lo anterior, en la muestra analizada los valores reportados corresponden a la suma: (55.13+24.84+20.03=100) dando cumplimiento a este requisito específico.

9.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Teniendo en cuenta que el compost producido por la técnica bokashi tiene falencias e cuanto a tres parámetros diferentes, tal como se evidencia en las tablas anteriores; es posible hacer especial referencia y analizar los parámetros que se mencionarán a continuación, teniendo en cuenta que de los 18 parámetros exigidos por la norma técnica colombiana, no logran cumplir con el valor estipulado, los siguientes parámetros: Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), Carbono Orgánico Oxidable y Retención de Humedad para la técnica bokashi. Entre tanto, el compost producido mediante el equipo EARTH GREEN SAC 100, no cumple con el parámetro de retención de humedad.

Por tanto, en cuanto al compost obtenido mediante la aplicación de la técnica bokashi es importante resaltar que la Capacidad de Intercambio Catiónico es aquella propiedad química que se encarga de retener y distribuir nutrientes cuando el suelo lo requiera, el bajo valor de C.I.C que se obtuvo se puede deber a la pobre degradación orgánica que tuvo esta técnica ya que al ser un método que consiste en oxidar elementos de origen 100% natural es imposible negar la presencia de nutrientes tales como nitrógeno, potasio y calcio; pese a que haya tenido un pobre degradación de la fase orgánica, como se dijo anteriormente. Por otro lado el valor obtenido de 17,84 Meq/100g indica que es un suelo arcilloso, lo cual prevé no una inexistencia de nutrientes sino una incapacidad del compost para distribuirlos correctamente sobre el suelo agregado.

Con respecto a la retención de humedad, teóricamente se conoce que cuando un suelo es arenoso la retención de agua es muy baja debido a que los poros son tan grandes que el fluido drena a través de ellos y relativamente poca es el agua retenida dentro del perfil, caso totalmente opuesto ocurre en suelos arcillosos ya que al estar tan unidos los poros o

espacios pequeños en el suelo el agua no puede drenar, es decir no se infiltra ni es capaz de ser absorbida por el suelo (Stakland, 2009). De esta manera se comprende como la retención de humedad para la técnica Bokashi obtuvo un valor que no supero el umbral ya que, aunque el abono obtenido tenía un gran porcentaje de humedad, la retención de la misma no viene dada únicamente por las características físicas del suelo y su porosidad, sino que también influye si el suelo se encuentra saturado de agua, entonces teniendo en cuenta que el abono obtenido poseía una humedad del 50% aproximadamente; al tratar de retener mayor cantidad de agua, los poros se encontraban completamente saturados por acción del fluido, lo que impedía la retención y entrada de más agua. Sin embargo, si se hablara comparativamente de este parámetro entre la dos técnicas, se logra observar que el valor dado para la técnica Bokashi, es más alto que el del equipo Earth Green SAC 100, probablemente sea por la característica física del compost producto del equipo compostador, ya que puede ser de procedencia arenosa, impidiendo como ya se dijo, una fácil retención de agua por el diámetro poroso tan grande que existen entre partículas.

El Carbono Orgánico Oxidable es aquella propiedad que en este caso posee el suelo la cual afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas vinculadas con la calidad, sustentabilidad y capacidad productiva sobre el suelo. Esta propiedad interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua, igualmente afecta positivamente la capacidad de intercambio catiónico sobre el suelo (Martinez, Fuentes, & Acevedo, 2008). El bajo porcentaje de carbono orgánico oxidable presente en la muestra afirma que el abono producto de la técnica Bokashi es un compost con pobres capacidades para retener nutrientes y de esta manera no posee buenas posibilidades para satisfacer y mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo en que es agregado, probablemente la degradación de la fase de carbono de la técnica Bokashi se hizo comparativamente más difícil que la del equipo compostador, pues el carbón no se mineralizó totalmente, aportándole muy poco carbono orgánico dispuesto a degradarse. Como bien se evidenció en el análisis elaborado con los dos parámetros anteriores que tampoco lograron superar el umbral propuesto en la NTC 5167 evidentemente el compost evaluado como tipo Bokashi posee deficiencias con respecto a la conservación de sustratos necesarios para mejorar la calidad del suelo, que es en este caso uno de los objetivos de un abono orgánico.

CONCLUSIONES.

La poca educación ambiental que tiene Bogotá y en general Colombia hace de este un territorio que no aprovecha correctamente sus recursos naturales y por otro lado sus residuos orgánicos. En ciudades como Bogotá el programa “Basura Cero” permite a los habitantes aprender sobre la separación en la fuente, en este caso se le da prioridad a los residuos sólidos inorgánicos como papel, cartón, plásticos metal y vidrio pero no se le da mayor importancia a todos aquellos residuos de origen orgánico. Es evidente que la intención de crear una cultura que aprenda sobre las técnicas de compostaje está muy lejana para ser realidad.

Teniendo en cuenta que los residuos sólidos que se generan en Bogotá y en general en Colombia en su gran mayoría son residuos orgánicos, al hacer un aprovechamiento efectivo de éstos, se permite crear la cultura de separación en la fuente, la mitigación y minimización de la problemática ambiental generada por la disposición final de los residuos sólidos y además permite el aumento de la vida útil del relleno sanitario. Por tanto, el compost es una excelente alternativa para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. Por medio de este estudio experimental se comprobó que los residuos generados en el plantel educativo tienen potencial para ser aprovechados y utilizados como abono por sus propiedades físicas y sus cualidades para el enriquecimiento del suelo, logrando un suelo más estabilizado y propenso al desarrollo.

La metodología propuesta por Tchobanoglous es una herramienta que permitió establecer la composición de los residuos a compostar, hallando la relación C/N de 25:1 para la técnica BOKASHI. La incorporación de esta ecuación a la técnica Bokashi permitió a la investigación de este proyecto encontrar un parámetro con el cuál se tuviera la certeza de la proporción de nutrientes que se estaban agregando en el proceso, para conseguir la relación C/N 25:1; ya que la técnica Bokashi al ser una técnica rudimentaria sus condiciones operativas se limita a dar medidas y cantidades de concepto empírico lo que imposibilitaba que la relación fuera óptima para realizar el proceso y conseguir un abono orgánico de buena calidad.

La variación con respecto a los valores que se obtuvieron en los dos métodos en cuanto a la temperatura y el pH, se logra evidenciar que la técnica Bokashi logró alcanzar valores más cercanos a los 60°C. La teoría sugiere que los mejores resultados se alcanzan en la fase termófila, las altas temperaturas pueden inhibir la actividad biológica pero mejoran las condiciones higiénicas del compost. (55°C - 60°C), es decir se eliminan patógenos (EUETI, 2010). De esta forma encontramos que la técnica Bokashi logro inhibir con mayor facilidad la actividad patógena en el compost, esto no significa que el Compostador Earth Green

SAC 100 no lo haya hecho, sino que lo hizo en menor medida. Es importante mencionar que este logro alcanzado tiene relevancia ya que en la composición de la técnica Bokashi se encuentra el estiércol de gallina puede presentar cierto contenido de patógenos.

De acuerdo a las gráficas de pH y temperatura, es de resaltar que para el compost obtenido mediante el equipo Earth Green SAC 100, la temperatura más baja registrada fue de 16°C y la más alta alcanzó los 56°C, dejando ver la diferentes fases normales que presenta el proceso de compostaje, es decir, logrando cumplir las etapas de activación de la actividad de los microorganismos, dando paso al posterior calentamiento del compost. Tal comportamiento se puede evidenciar igualmente en la curva de pH, gráfica en la cual se logra observar que en el primer día de la fase de compostaje, se registra un valor de 6,5 unidades, resaltando que en dicho momento aún no comenzaba la actividad microbiana, sin embargo, se registra un leve descenso del pH a partir del segundo día, alcanzando el valor más bajo de 5,5 unidades; para posteriormente aumentar hasta 8 unidades en los días en los que la temperatura también alcanzó los valores más altos.

Igualmente, en cuanto a las curvas de pH y temperatura referentes al compost obtenido mediante la técnica Bokashi, se observa que existió un cumplimiento de las etapas que sufre el compost, puesto que al observar la gráfica de temperatura, dicho parámetro estuvo entre 17°C en su valor mínimo y 60°C en su máximo; dando cuenta de la activación propia de la actividad microbiológica desde el segundo día del proceso. Dicha técnica presentó un valor máximo de temperatura más alto que el compost del equipo Earth Green, esto pudo deberse a una mayor cantidad de materia orgánica disponible de la técnica Bokashi, teniendo en cuenta que la misma contenía gallinaza, la cual viene dada de actividad microbiana propia. Ahora bien, en cuanto al pH, se registró un valor mínimo de 5 unidades y un máximo de 8,3 unidades. Hacia la mitad de la fase de compostaje, se logra una estabilización del pH con valores promedio de 7,5 unidades, para disminuir posteriormente a 6,8 unidades, dando paso a la fase de maduración. Dicho valores son consecuentes con el comportamiento normal de dicho parámetro a lo largo de las fases del compost, dando cumplimiento satisfactorio con tales etapas.

El comportamiento del pH muestra un proceder condescendiente a lo que sucedió con la temperatura, igualmente se demuestra cómo la liberación de ácidos orgánicos se genera en la primera fase para luego dar paso a una alcalinización, es decir aumenta el pH, lo cual se debe a la baja actividad microbiana que ha cesado después de tener un gran trabajo en la fase mesófila.

Respecto a los resultados obtenidos del laboratorio “Doctor Calderón” producto del análisis de las dos muestras de cada uno de los métodos de obtención de compost, es de resaltar que existen parámetros, cuyo valor no se encuentra dentro del rango exigido por la NTC 5167/2011. El parámetro que no alcanza el valor tanto para el abono Bokashi como el producido por el equipo Earth Green SAC 100 es la retención de humedad. Respecto a este

último, se puede mencionar que solo hay un parámetro que se encuentra por debajo del mínimo requerido, dando cumplimiento total y satisfactorio con los demás. En cambio, el compost producto de la técnica Bokashi se queda corto en su valor en tres parámetros, y alcanza el rango exigido en el resto. Para las dos técnicas es importante resaltar que alcanza el valor exigido por la norma, en cuanto a la sumatoria de los valores obtenidos en los parámetros de porcentaje de humedad, cenizas y pérdidas por volatilización, pues requiere de un valor de 100, dando cumplimiento satisfactorio en dicho requisito para cada una de las muestras del compost producto de las dos técnicas en cuestión.

De acuerdo a los resultados conseguidos tanto del compost generado por la técnica Bokashi como el obtenido mediante el uso del Compostador Earth –Green SAC 100, se logra evidenciar que el compost producto del uso de dicho equipo arroja mejores resultados teniendo en cuenta lo exigido en la NTC 5167. Según los análisis de resultados permitieron concluir que el medio en el que se desenvuelve la técnica Bokashi no permite que se potencialicen algunos parámetros que afectan en su mayoría a la distribución y retención de nutrientes. La C.I.C, la retención de humedad y el carbón orgánico oxidable son los parámetros que no superaron el umbral exigido por la NTC 5167.

RECOMENDACIONES.

La maduración del compost es una de las fases más importante en la generación de abono orgánico, ya que de esta fase depende que los nutrientes y las propiedades tanto físicas como químicas se adhieran y se estabilicen en el abono orgánico, por esto se recomienda que esta fase se realice durante periodos más extensos para que el compost pueda cumplir con todos los parámetros expuestos por la NTC5167 teniendo a su vez un mejor acople de nutrientes y obtenga un mayor rendimiento.

El uso de equipos Earth Green para la descomposición de materia orgánica han sido evaluados y deben seguir siendo utilizados para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. Su buen funcionamiento hace de él una alternativa viable no solo desde su concepto técnico sino también desde el punto de vista económico y social, ya que al tener un bajo costo es accesible y trae grandes beneficios para los usuarios y para el medio ambiente.

La adición de levadura en el compostaje permitirá que el proceso microbiano de la técnica Bokashi se acelere y por lo tanto que sus propiedades obtengan un mejor rendimiento en cuanto al mejoramiento del suelo y su fertilidad.

La Universidad de La Salle es una institución reconocida en el país por ser excelente en la formación y educación de profesionales, además se preocupa por las problemáticas medio ambientales del país, por esto es importante que dentro del plan de estudios de la carrera se profundicen las técnicas de aprovechamiento, reutilización y reciclaje tanto de los residuos sólidos orgánicos como inorgánicos, siendo éstas implementadas al interior de la institución, ya que se tienen todas las materias primas e insumos necesarios para la realización de éstas, mediante técnicas como el compostaje para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

Es momento que en Colombia se dejen de disponer en el relleno sanitario todo tipo de residuos sólidos generados, ya que al ser un país que basa su economía en la agricultura, con el aprovechamiento y producción de abono orgánico se obtendrían grandes beneficios que ofrece su uso en otros campos como la generación de energía, a partir del biogás que generan los residuos sólidos orgánicos, minimizando, mitigando y protegiendo los recursos naturales no renovables.

Se ha encontrado que la producción de compost a partir de residuos sólidos orgánicos provenientes de restaurantes es una excelente alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Ya que la Universidad presenta diferentes sedes tanto en Bogotá como

en Cundinamarca y en Yopal con el proyecto Utopía, es recomendable replicar este proyecto debido a que en cada uno de estos lugares se dispone de distintas materias primas e insumos necesarios para realizar la técnica de compostaje, como por ejemplo estiércoles producto de la actividades ganaderas y agrícolas que se desarrollan en tales establecimientos; por lo tanto la metodología propuesta por Tchobanoglous tendrá un comportamiento diferente por las condiciones que se presentan en cada uno de estos lugares.

BIBLIOGRAFÍA

- Bueno, P., Diaz, M., & Cabrera, F. (23 de 06 de 2011). *Universidad de huelva*. Recuperado el 07 de 09 de 2015, de factores que afectan el proceso de compostaje: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Emison. (23 de 08 de 2009). *Compostaje Industrial*. Recuperado el 13 de 09 de 2015, de Pilas De Compostaje: <http://www.emison.com/5141.htm>
- EUETI. (26 de 04 de 2010). *Escola Universitaria De Enxeñeria*. Recuperado el 02 de 11 de 2015, de tratamiento de residuos: http://eueti.uvigo.es/files/material_docente/1862/tema3tratamientobiologico.pdf
- Gonzalez, J. (21 de 11 de 2010). *Ecocomunidad*. Recuperado el 07 de 09 de 2015, de Agroecologia: <http://www.ecocomunidad.org.uy/ecosur/txt/index.html>
- ICONTEC INTERNACIONAL. (31 de Marzo de 2011). Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de <http://tienda.icontec.org/brief/NTC5167.pdf>
- Martinez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (08 de 02 de 2008). *Universidad De Chile*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Carbon Organico y propiedades del suelo: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Montealegre Garzón, E. L., & Loaiza Cordero, N. (2015). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE SEDE CENTRO MEDIANTE EL COMPOSTADOR EARTHGREEN SAC – 100*. Bogotá.: Tesis de grado.
- Ohio, U. (12 de 03 de 2003). *The Composting Process*. Recuperado el 15 de 10 de 2015, de Is control of pH and moisture important during composting?: http://ohioline.osu.edu/b792/b792_4.html
- Picado, J., & Añasco, A. (12 de 04 de 2005). *CEDECO*. Recuperado el 07 de 09 de 2015, de Preparacion y uso de abonos organicos solidos y liquidos : <http://es.slideshare.net/hamchiful/abonos-organicos>
- Picado, J., & Añasco, A. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos*. San José, Costa Rica.: Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense.

- Roman, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (12 de 06 de 2013). *FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)*. Recuperado el 13 de 09 de 2015, de Manual del compostaje del agricultor : <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>
- Stakland, S. (13 de 04 de 2009). *eHow*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Capacidad del suelo de retencion de humedad: http://www.ehowenespanol.com/capacidad-del-suelo-retencion-humedad-info_288012/
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestion Integral de Residuos Solidos*. Madrid: McGRAW-HILL.
- UDC. (09 de 12 de 2009). *Grupo De Gestion De Residuos*. Recuperado el 15 de 10 de 2015, de Etapas del proceso de compostaje: <https://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/2009/12/15/etapas-del-proceso-de-compostaje/>

ANEXOS.

Anexo 1. Resultados análisis de laboratorio de la muestra 1 (Carbono) para la técnica BOKASHI.

Análisis de Control de Calidad		Muestreo	2015-08-11
		Recepción	2015-08-11
		Análisis	2015-08-18
No. CCF 18448		Orden de T.	54118

EMPRESA	Diego Mayorga Hernández	DESCRIPCION:	Materia Prima
DIRECCION	Cll 7 A No. 74 - 04 Int 1 Apto 402	IDENTIFICACION:	Muestra 1 - Carbono
CIUDAD	Bogotá	CARACTERISTICAS:	Carbon, papel y cascarilla de arroz
NIT	1.010.205.192	Procedencia:	BOGOTA CUNDINAMARCA


REPORTE EN BASE HUMEDA

METODOS ANALITICOS			
	NTC 35 Gravimetría		
	Suma de Nitrógenos		
	NTC 5167 Walkey Black		

Humedad	6.09	% P/P	
Nitrógeno total	0.45	% P/P	
C. Orgánico Oxidable Total	20.57	% P/P	
Rel (C/N)	45.63		

NOTA: La extracción de los minerales se realizo con HNO3 - HClO4 en proporción (2:1)

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Fuente: Laboratorio “Doctor Calderón”.

Anexo 2. Resultados análisis de laboratorio de la muestra 2 (Nitrógeno) para la técnica BOKASHI.

Análisis de Control de Calidad		Muestreo	2015-08-11
		Recepción	2015-08-11
		Análisis	2015-08-18
No. CCF 18449		Orden de T.	54118

EMPRESA	Diego Mayorga Hernández	DESCRIPCION:	Materia Prima
DIRECCION	Cll 7 A No. 74 - 04 Int 1 Apto 402	IDENTIFICACION:	Muestra 2 - Nitrógeno
CIUDAD	Bogotá	CARACTERISTICAS:	Gallinaza y residuos sólidos orgánicos
NIT	1.010.205.192	Procedencia:	BOGOTA CUNDINAMARCA


REPORTE EN BASE HUMEDA	
-------------------------------	--

Humedad	46.21	% P/P	
Nitrógeno total	1.42	% P/P	
C. Orgánico Oxidable Total	15.86	% P/P	
Rel (C/N)	11.17		

METODOS ANALITICOS
NTC 35 Gravimetría
Suma de Nitrógenos
NTC 5167 Walkey Black

NOTA: La extracción de los minerales se realizo con HNO₃ - HClO₄ en proporción (2:1)

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Fuente: Laboratorio “Doctor Calderón”.

Anexo 3. Resultados análisis de laboratorio de la muestra del compost producto de la técnica BOKASHI según la NTC 5167.

<h2 style="text-align: center;">Análisis de Control de Calidad</h2>		Muestreo	2015-10-06
		Recepción	2015-10-06
		Análisis	2015-10-16
No. CCF 18737		Orden de T.	54530
EMPRESA	Diego Mayorga Hernández		
DESCRIPCION:		Abono Orgánico	
IDENTIFICACION:		BOKASHI - M1	
DIRECCION	CII / A No. 74 - U4 Int 1 Apto 402		
CIUDAD	Bogotá		
NIT	1.010.205.192		
CARACTERISTICAS:		Producto húmedo color café oscuro	
Procedencia:		BOGOTÁ CUNDINAMARCA	

REPORTE EN BASE HUMEDA

				METODOS ANALITICOS			
Densidad Aparente Seca	0.200	g/cm3		LBC 43 Gravimetria			
pH en Pasta Saturada	8.24			LBC 44 Potenciometria			
C.E. en Extracto Saturacion	1.12	dS/m		LBC 41 Potenciometria			
Humedad	55.13	% P/P		NTC 35 Gravimetria			
Cenizas	24.84	% P/P		LBC 39 Gravimetria			
Residuo Insoluble en Acido	10.14	% P/P		LBC 21 Gravimetria			
C.I.C	17.84	meq/100g		NTC 5167 Volumetria			
Nitrogeno total	0.89	% P/P		Suma de Nitrógenos			
Potasio Total	0.44	% P/P	K2O Total 0.53 % P/P	NTC 202 Emisión			
Calcio Total	1.27	% P/P	CaO Total 1.78 % P/P	NTC 1369 Absorción Atómica			
Magnesio Total	0.10	% P/P	MgO Total 0.17 % P/P	NTC 1369 Absorción Atómica			
Fósforo total	0.17	% P/P	P2O5 Total 0.40 % P/P	NTC 234 Colorimetria			
Azufre	0.02	% P/P		NTC 1154 Turbidimetria			
Sodio	0.04	% P/P		NTC 1146 Emisión			
C. Orgánico Oxidable Total	8.95	% P/P		NTC 5167 Walkey Black			
Rel (C/N)	10.03						
Retención de Humedad	74.14	% P/P		NTC 5167 Gravimetria			
Perdidas por Volatización	20.03	% P/P		NTC 5167 Gravimetria			
Si Total	3.56	% P/P	SiO2 Total 7.62 % P/P	LBC 89 Colorimetria			

NOTA: La extracción de los minerales se realizo con HNO3 - HClO4 en proporción (2:1)

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Fuente: Laboratorio "Doctor Calderón".

Anexo 4. Resultados análisis de laboratorio de la muestra del compost producto de la equipo EARTH GREEN SAC 100 según la NTC 5167.

Análisis de Control de Calidad		Muestreo	2015-10-06
		Recepción	2015-10-06
		Análisis	2015-10-16
No. CCF 18738		Orden de T.	54530
EMPRESA	Diego Mayorga Hernández	DESCRIPCION: Abono Orgánico	
DIRECCION	Cll 7 A No. 74 - U4 Int 1 Apto 402	IDENTIFICACION: EARTH GREEN - M2	
CIUDAD	Bogotá	CARACTERISTICAS: Producto café oscuro	
NIT	1.010.205.192	Procedencia: BOGOTÁ CUNDINAMARCA	

REPORTE EN BASE HUMEDA

Densidad Aparente Seca	0.140	g/cm3
pH en Pasta Saturada	8.54	
C.E. en Extracto Saturacion	2.99	dS/m
Humedad	48.26	% P/P
Cenizas	9.68	% P/P
Residuo Insoluble en Acido	1.14	% P/P
C.I.C	39.72	meq/100g
Nitrógeno total	0.94	% P/P
Potasio Total	0.90	% P/P
Calcio Total	1.38	% P/P
Magnesio Total	0.10	% P/P
Fósforo total	0.13	% P/P
Azufre	0.03	% P/P
Sodio	0.10	% P/P
C. Orgánico Oxidable Total	16.04	% P/P
Rel (C/N)	13.84	
Retención de Humedad	17.07	% P/P
Perdidas por Volatilización	42.06	% P/P
Si Total	0.50	% P/P

K2O Total	0.88	% P/P
CaO Total	1.94	% P/P
MgO Total	0.17	% P/P
P2O5 Total	0.29	% P/P

METODOS ANALITICOS

LBC 43 Gravimetria
LBC 44 Potenciometria
LBC 41 Potenciometria
NTC 35 Gravimetria
LBC 39 Gravimetria
LBC 21 Gravimetria
NTC 5167 Volumetria
Suma de Nitrógenos
NTC 202 Emisión
NTC 1369 Absorción Atómica
NTC 1369 Absorción Atómica
NTC 234 Colorimetria
NTC 1154 Turbidimetria
NTC 1146 Emisión
NTC 5167 Walkey Black
NTC 5167 Gravimetria
NTC 5167 Gravimetria
LBC 89 Colorimetria

NOTA: La extracción de los minerales se realizo con HNO3 - HClO4 en proporción (2:1)

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia.



Fuente: Laboratorio "Doctor Calderón".