

**Evaluación de aceleradores para el tratamiento de residuos orgánicos del barrio
Portal de María en Facatativá, Cundinamarca, a través de pacas digestoras**

Valeria Antury Abello

Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Facatativá, Cundinamarca

2022

**Evaluación de aceleradores para el tratamiento de residuos orgánicos del barrio
Portal de María en Facatativá, Cundinamarca, a través de pacas digestoras**

Valeria Antury Abello

Trabajo para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:

Mery Rocio Fonseca Lara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Facatativá, Cundinamarca

2022

Resumen

En el transcurrir del tiempo, la población crece cada vez y a su vez todos los residuos que se generan aumentan sin descanso; por lo anterior la idea de generar una alternativa para ayudar a mitigar y a la conservación del medio combinado con labores sociales y de paisajismo que puedan funcionar en espacios pequeños y de fácil acceso y construcción como lo son las pacas digestoras silva es una solución adaptable e influyente. Construidas con materiales reciclables, sin mucho esfuerzo y por pocas personas se alcanzan a disponer los residuos orgánicos y de jardín de aproximadamente 26 familias compuestas en un rango de 3 a 4 personas cada una. De acuerdo a lo experimentado e implementado se pueden disponer cerca de 298Kg de residuos orgánicos reunidos por estas familias en el lapso de una semana (7días) en un espacio no mayor a $4m^3$. Se construyeron 3 pacas biodigestoras con medidas de $0.50m^3$ cada una compuesta por 50% de residuos orgánicos (como cáscaras y residuos de frutas y verduras, cáscaras de huevo, semillas, entre otros), mezcladas con un 50% de residuos de jardín (hojarasca, ramas, hierba) y para en el caso de las pacas #2 y #3 con una adición de biopreparados con la función de actuar como aceleradores de procesos de compostaje. Con esta técnica se logró procesar poco más de un cuarto de tonelada (o 250 kilogramos) de residuos orgánicos en tan solo medio metro cúbico de espacio.

Palabras clave: Aceleradores, pacas, compost, humus, ortiga.

Abstrac

In the course of time, the population grows each time and in turn all the waste that is generated increases relentlessly; therefore the idea of generating an alternative to help mitigate and environmental conservation combined with social and landscaping work that can work in small spaces and easy access and construction as are the silva digester bales is an adaptable and influential solution. Built with recyclable materials, without much effort and by only a few people, the organic and garden waste of approximately 26 families composed in a range of 3 to 4 people each can be disposed of. According to what has been experimented and implemented, about 298Kg of organic waste collected by these families can be disposed of in a week (7 days) in a space no larger than 4m³. Three biodigester bales were built, each measuring 0.50m³ and composed of 50% organic waste (such as fruit and vegetable peels and residues, eggshells, seeds, among others), mixed with 50% garden waste (leaf litter, branches, grass) and in the case of bales #2 and #3 with an addition of biopreparations to act as accelerators of composting processes. With this technique it was possible to process a little more than a quarter of a ton (or 250 kilograms) of organic waste in only half a cubic meter of space.

Keywords: Accelerators, bales, compost, humus, nettle.

Índice de contenido

Resumen.....	3
Abstrac	4
Índice de contenido	5
Índice de imágenes.....	7
Índice de tablas.....	9
Introducción.....	11
Planteamiento del problema.....	13
Justificación.....	16
Objetivos	18
General.....	18
Específicos.....	18
Marco teórico	19
Generalidades.....	19
Disposición de residuos sólidos:.....	22
Uso de compostaje y aceleradores naturales:.....	24
Modelo de Pacas Digestoras:.....	25
Aplicabilidad y beneficios en la comunidad:.....	27
Metodología	29
Área de estudio:	29
Identificación de las alternativas de aceleradores orgánicos para sistemas de compostaje aplicables a las pacas digestoras	31
Selección y obtención de los aceleradores aplicables a las pacas #1 y #2:	32
Biopreparado acelerador #2: Humus Liquido	34
Cálculo del volumen de residuos a tratar:	35
Construcción de las pacas:.....	38
Metodología de llenado para las pacas digestoras.....	39
Características fisicoquímicas:	43
Temperatura:.....	43
Humedad:.....	43
pH:	43
Tiempo:.....	44

Factibilidad:	44
Proyección estadística en rangos de pH vs. Tiempo:	44
Participantes:	45
Resultados y discusión.....	46
Conclusiones.....	65
Referencias bibliográficas	68

Índice de imágenes

Imagen 1 Ubicación geográfica de la universidad nacional abierta y a distancia CCAV Facatativá y el barrio Portal de María en Facatativá.....	30
Imagen 2 Ubicación geográfica de las tres pacas digestoras en las instalaciones de la UNAD Facatativá	31
Imagen 3 Tallos y hojas de ortiga 1Kg, sumergidas en un recipiente plástico con 10L de agua. (Fuente propia)	33
Imagen 4 Recipiente de plástico con 2.5L de agua, humus solido de lombriz 500g y la incorporación de ambos y el agitador de madera para mezclar y crear la solución. (Fuente propia).....	34
Imagen 5 Torres azules conjunto residencial barrio portal de maria (Facatativá), fuente Google MaPS	38
Imagen 6 Molde “cubo” de dos pacas digestoras ubicados en campo en las instalaciones de UNAD CCAV Facatativá, (Fuente, propia)	38
Imagen 7 Base de ramas en contacto directo con el suelo en las pacas digestoras	39
Imagen 8 Capa de residuos de jardín acomodada a manera de nido.....	40
Imagen 9 Inclusión de residuos orgánicos, ubicándolos en el centro del “nido” formado con los residuos de jardín.....	41
Imagen 10 Paca digestora con la última capa de residuos de jardín sin compactar.	41

Imagen 11 Paca digestora con la última capa de residuos de compacta.....	41
Imagen 12 Las 3 pacas digestoras ubicadas y llenas cubiertas con plástico.....	42
Imagen 13 Las 3 pacas digestoras sin los moldes de madera y conservando su forma de cubo compactadas.....	48
Imagen 14 Paca digestora evidencia de las capas, superficie con residuos de jardín y laterales sin residuos orgánicos visibles.....	49
Imagen 15 Las pacas digestoras protegidas por un techo en plástico y bases de madera.....	50
Imagen 16 Un punto de medición de parámetros con el pHmetro en el centro e interior de la paca.....	53
Imagen 17 Disminución del volumen en altura de la paca digestora, color superficial café claro.....	53
Imagen 18 Disminución del volumen en altura de la paca digestora, Febrero 12/2022.....	55
Imagen 19. Escala de pH y valores óptimos para tierra comportada en cultivo (Ecohortum, 2016)	59

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación y caracterización de las pacas digestoras en camp.....	42
Tabla 2. Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras primer mesde septiembre a octubre 2021	46
Tabla 3 Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras segundo mes de octubre a noviembre de 2021	51
Tabla 4 Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras tercer mes de noviembre a diciembre de 2021	54
Tabla 5 Registro de datos y proyecciones a 15 semanas del pH en las pacas digestoras	62

Índice de graficas

Grafica 1 Registro de datos de Temperatura de la pacas biodigestoras en 12 semanas.....	56
Grafica 2 Registro de datos de pH de la pacas biodigestoras en 12 semanas.....	58

Introducción

El tema del aprovechamiento de los residuos orgánicos se ha mencionado con más frecuencia tomando una importancia potencial alrededor del mundo, debido al incremento de los impactos negativos al medio ambiente que genera la producción diaria y en segundos de cada industria en su labor por satisfacer las necesidades en productos y del diario vivir de nuestra sociedad, misma que se ha incrementado su población significativamente y por consecuente el aumento de la demanda en recursos, tan incrementado ha sido el desarrollo social que a nivel mundial se llegana generar más de 2 .000 millones de toneladas de residuos sin clasificar por año, de los cuales y de acuerdo con Verisk Maplecroft en el Informe índices de generación y reciclaje de residuos, solo 323 millones toneladas son calcificadas y recicladas, cifra bastante desalentadora, pues deja más de 950 millones de tonelada, cerca del 46% de la cifra total, sin una adecuada disposición siendo eliminadas de manera insostenible. Las proyecciones sobre la generación de residuos a 2050 son crecientes, tendencia que de mantenerse sin tomar medidas al respecto incrementarían en un 70 % los desechos a nivel mundial, es decir, cercade 3400 millones de toneladas al año (Kaza et al., 2018).

Para el caso de Colombia, las proyecciones no son muy alentadoras, el Departamento Nacional dePlaneación (DNP), que en uno de sus recientes informes afirma que Colombia no encuentra una solución para mejorar la prevención de generación de residuos, y realizar un adecuado aprovechamiento de los mismos, y como consecuencia, en el año 2030 se proyectan emergencias sanitarias en la mayoría de la ciudades principales y alta propagación de emisión de gases de efecto

invernadero, afectando a su vez la calidad del aire.

Sin embargo y a pesar de las estimaciones la idea es integrar factores en posibilidades que puedan mitigar estos impactos en actividades como potenciar la agricultura ecológica, el aporte de la materia orgánica en los suelos degradados, el alargamiento de la vida útil de los rellenos sanitarios, creando una cultura ambiental local generando una oportunidad factible, atractiva y con resultados verídicos y efectivos para transmitir a la comunidad, con la implementación de pacas digestoras y la adición de biopreparados aceleradores de procesos de compost para la disposición de los residuos orgánicos domiciliarios generados por los residentes del barrio Portal de María en el municipio de Facatativá, en el cual según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) actualizado de 2019, se generaron 2585,3 Ton/mes, de estas, la mayor cantidad generada para el sector residencial fueron los orgánicos (48.2 %), para el comercial el plástico (40.5%) y para el sector institucional el papel (36.5 %) (PGIRS, 2015).

Planteamiento del problema

La cantidad de residuos orgánicos sin clarificar generados en el diario vivir, han impactado de manera negativa en el medio ambiente y la sociedad, con su llegada a los rellenos sanitarios genera emisiones de metano CH₄, que es un gas causante del efecto invernadero (Neira, X. 2020), la contaminación de cuerpos de agua y acuíferos subterráneos a causa de la lixiviación entre otros, como lo son los residuos orgánicos generados en el sector residencial, debido a que gran parte e incluso el total de estos, no se separa y se dispone en el relleno sanitario. La disposición de residuos sólidos orgánicos entre comunidades se ha ido afianzando con la implementación de alternativas que generan beneficios sociales, ambientales, paisajísticos y hasta económicos; estos aun logrando ser desarrollados en espacios limitados y evitando la propagación de vectores como plagas, malos olores e intervención paisajística de zonas verdes de los barrios que las implementan.

Uno de los factores externos que se debe considerar es, que el municipio de Facatativá cuenta con condiciones demográficas y climáticas de la zona de sabana, que por su altitud presenta un clima frío teniendo como temperatura media anual los 14 °C. Sin embargo, presenta dos épocas de "heladas", la primera desde diciembre hasta marzo y la segunda en julio y agosto; en estos dos periodos, se presenta durante el día una temperatura de hasta 22 °C, pero en la noche una temperatura media de 0 °C, a excepción de los meses de diciembre y enero, cuando la temperatura nocturna promedio es de -2 °C. El clima del municipio se caracteriza por lluvia abundante, aunque usualmente, durante los meses de mayo, junio, julio y

agosto, se presenta la temporada seca (Ideam 2018). En consecuencia, dichos factores meteorológicos no favorecen el rápido crecimiento microbiológico necesario para la degradación de materia orgánica y por tanto se consultaron y aplicaron alternativas para potenciar el trabajo, identificando organismos aceleradores de procesos para el compost que, en conjunto, ayuden en el proceso proyectando resultados más rápidos, más eficaces y productivos.

El barrio Portal de María ubicado en este municipio está compuesto por cerca de 1.600 viviendas, entre casas y apartamentos, cada familia que reside en esta comunidad, y de acuerdo a los cálculos de producción per capita donde se relaciona la cantidad de residuos sólidos generada por cada miembro de una familia, teniendo en cuenta un promedio de 4 personas por familia según estimaciones del DANE (Aldana, 2020), genera alrededor de 2.87 expresada en términos de Kg./usuario - día o unidades equivalentes por cada uno de los miembros en la familia y al ser sumados a 7 días que equivale a una semana serian aproximadamente un cuarto de tonelada de residuos orgánicos que ni tendrían una disposición correcta.

En el modelo de pacas digestoras silva se busca clasificar y disponer estos residuos en cantidades de semana por familia para ser tratados en un espacio reducido y con pocos materiales de construcción, un seguimiento sencillo y sostenible que no requiere de mucha intervención dando solución a la disposición de una gran cantidad de residuos que se generan a diario en el barrio Portal de Maria y con sushabitantes como anfitriones de acción participativa desarrollando también sentido de pertenecía por su habitad de residencia y mejora de su calidad

de vida.

Justificación

Con el incremento poblacional cada vez más acelerado es bien sabido que cada actividad que se realiza en el diario vivir genera impactos positivos o negativos en nuestro ambiente, bien sea en el medio social, económico o nuestro enfoque, el medio ambiente natural; en grandes cantidades repercutiendo en toneladas de basuras diarias con residuos orgánicos, inorgánicos, tóxicos y peligrosos. Las políticas y estrategias del Gobierno Nacional están orientadas a mejorar la calidad de vida de la población colombiana en fundamentos ambientales, implementando toda la legislación ambiental vigente para tal fin, de manera que entre los deberes que se tienen como comunidad está el controlar y mitigar la contaminación que se desprende de los residuos domésticos generados en cada uno de los hogares colombianos mejorando nuestra calidad de vida en aspectos de entorno y el manejo y disposición adecuada de dichos residuos.

Las pacas digestoras se han planteado y posicionado con gran aceptación como una gran alternativa para el manejo ecológico de los residuos orgánicos, se ha desarrollado inicialmente en la Universidad de Antioquia y en varios proyectos en Bogotá, Madrid y otros municipios en cultura y educación ambiental, acciones prácticas, investigación, tesis, entre otros.

La experiencia de acción participativa y apropiación del territorio son beneficios que incluyen las pacas biodigestoras, ya que al ser construidas con los residuos orgánicos que se generan en los hogares de la comunidad, residuos de jardín y materiales económicos y reciclables contribuyen al cambio socio ambiental y mitigación de la contaminación en varios aspectos.

En el municipio de Facatativa la precipitación anual es bastante frecuente, motivo por el cual los procesos de descomposición y compostaje toman más tiempo de lo normal, considerando así la aplicabilidad en las pacas digestoras de dos aceleradores naturales que beneficien el proceso de compost e intensifiquen su rendimiento, el primero a base de extracto de ortiga y el segundo con humus líquido de lombriz; ambos con una compensación basada en el pro de efectos y procesos de compost y que al incluirlos en las pacas digestoras se espera aportar un mayor rendimiento en tiempo y características fisicoquímicas como pH, temperatura, olor, color, humedad y textura. Logrando así una relación de la investigación-acción que ha reconocido a la Paca Biodigestora como un método económicamente viable y ecológicamente sostenible en la conservación eficiente de la energía en su microsistema igual que en la naturaleza; obteniendo cubos verdes de material compostado e integrado al paisaje natural de la comunidad que pueden continuar su tarea como base a desarrollo en proyectos futuros de huertas urbanas

Objetivos

General

Evaluar opciones de aceleradores para el tratamiento de residuos orgánicos a través de pacas biodigestoras en el barrio Portal de María de Facatativá.

Específicos

Identificar alternativas de aceleradores orgánicos para sistemas de compostaje

Analizar variables fisicoquímicas de las unidades compostadoras.

Determinar los tiempos de obtención de compost para cada uno de los aceleradores identificados.

Realizar análisis fisicoquímico del compost obtenido para cada uno de los aceleradores identificados.

Marco teórico

Generalidades

Con el inminente desarrollo en el país y la llegada de nuevos productos para consumo en los hogares se ha incrementado aún más los residuos que se generan en el hogar, diariamente se generan entre 6000 y 10000 toneladas de residuos que se disponen en el Relleno Sanitario Doña Juana, de los cuales aproximadamente el 60% son residuos orgánicos (Hernández, 2010; UAESP, 2011), además de los generados por industrias, empresas y demás actividades antrópicas que afectan de manera directa o indirecta el medio ambiente ocasionando impactos en cuerpos de agua, suelos y calidad del aire.

En Colombia y de acuerdo con “El Consejo Nacional de Política Económica y Social” (CONPES), que es un organismo asesor del gobierno colombiano en lo que respecta al desarrollo económico y social del país (CONPES 2004), se generan alrededor de 28.000 toneladas diarias de residuos sólidos ordinarios que se generan en los 1.102 municipios del país. De acuerdo con esta cifra, se registra en el “Informe final Nacional de disposición de residuos sólidos 2019” de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, que unas 11.800 toneladas (40,7%) son producidas en Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, estas cifras evidencian que existe un problema en zonas urbanas en la separación y disposición de los residuos sólidos generados, a esto se le puede sumar que según el informe de Seguimiento de la Gestión de los Residuos Sólidos en Colombia de la Procuraduría general de la nación de Colombia el 75% de estos residuos es de origen residencial.

Según Osorio (2014), en Colombia se produce a diario 27.300 toneladas de basuray 10.037.500 toneladas al año, equivalente a que cada persona produce en promedio 1 kg de basura diariamente y gran parte se puede reutilizar. “El 55% de los residuos en Colombia es material orgánico” (Osorio, 2014). De acuerdo con la cifras anteriores y sabiendo que para el desarrollo de nuestras actividades diarias de tipo domestico requerimos de una diversidad de productos e igualmente de desechos que consideremos como “basura”, más aun sabiendo que podemos organizar una adecuada separación de ella tan sencilla para obtener beneficios sociales y ambientales, incluso económicos, alargando el ciclo de vida de algunos productos y otros disponiéndolos de manera correcta para que su disposición final sea adecuada según su origen; según Jaramillo (2003) la mala disposición de residuos genera deterioro al ambiente, con vertimientos de lixiviados de basuras en ríos, acuíferos subterráneos, descomposición de basuras a cielo abierto generando la proliferación de vectores como las ratas, entre otros, y sumados a los malos olores de la misma basura

De acuerdo con el Decreto 838 de 2005, se define como residuo cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final, se han gestionado diferentes canales y mecanismos para la separación de dicho residuos en grandes rasgos como aprovechables, no aprovechables; A partir de la separación en la fuente se han buscado usos

alternativos benéficos para el entorno, como es el proceso de reciclaje para la transformación de los residuos sólidos orgánicos nuevamente en materia prima.

Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos es el compostaje el cuál se define como descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando la estructura molecular de los mismos. De acuerdo al tiempo de degradación, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, cuando todas las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad (Henaó, 2008). Estos residuos inorgánicos inertes o minerales se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas causando beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno. Esta alternativa es la más usada debido a que permite tratar cantidades altas de residuos, siendo el caso de la generación de los residuos sólidos urbanos.

Se han intensificado las acciones de tratamiento de residuos sólidos en las comunidades, y uno de estos métodos es el compostaje, de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (2000), el compostaje es un proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en la basura se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos. Hoy en día se hace uso de los microorganismos eficientes EM, según Moya (2001), estos son una mezcla de cultivos benéficos (bacterias ácido-lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos de la fermentación), que pueden inocular el suelo y plantas, aumentando la diversidad microbiana del

ambiente ejerciendo así, efectos positivos en los sistemas de producción. Siguiendo lo planteado por Röben (2002), se pueden compostar, cáscaras de verduras, granos, legumbres y fruta, cáscaras de huevos, nueces, desechos de té o café, papel de servicio usado (papel de baño, papel de cocina), cabello cortado, plumas, desechos de jardín o huerto, desechos de plantas decorativas (con o sin tierra), flores decorativas, desechos sólidos de la cocina (pan podrido, cáscaras de queso etc.), desechos de madera sin laqueado o pintura, astillas, acepilladura, viruta, paja usada de animales domésticos.

Disposición de residuos sólidos:

Actualmente se evidencia un gran incremento de residuos sólidos provenientes de cualquier actividad que se realiza, ya sea en una empresa, en el hogar, en los colegios, actividades turísticas, industrias, e.t.c; Su incremento está directamente relacionado con el crecimiento demográfico y de la población que se acentúan en algunos lugares puntuales, como los complejos empresariales, los parques industriales, y las urbanización de apartamentos y casas que abarcan una gran cantidad de personas, actividades y procesos en su día a día.

Lo que comúnmente se denomina como “basura” es el resultado de diferentes residuos que mezclados no generan ningún impacto positivo, ni ambiental, social o económicamente, pero si se conocen, clasifican y disponen de manera correcta traen consigo los beneficios, como los anteriormente mencionados en impactos muy positivos. Las leyes 09 de 1979, 142 de 1994, 430 de 1998, el Documento Conpes 2750 de 1994, los decretos 2462 de 1989 y 605 de 1996, varias resoluciones y el Decreto 2981 de 2013, reglamentario de la prestación del servicio público de aseo,

que incluye la actividad de recolección y transporte de residuos aprovechables, y prevé que en la formulación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Pgirs). Así mismo, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidió el 25 de noviembre del 2014, la Resolución 0754, por la cual se establece la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los mismos planes de gestión (Portafolio, 2015).

El Plan Maestro de Basuras para Bogotá, definen el “aprovechamiento” como la recuperación eficiente de diferentes materiales presentes en los desechos, la cual puede realizarse mediante la reutilización, el reciclaje, la incineración con generación y el compostaje, este último haciendo referencia a los planteado y que iremos desarrollando, para tal fin es necesario saber que trataremos con la clasificación de residuos como “Residuo Solido Domiciliario”, es decir, que proviene de actividades realizadas en viviendas. El tipo de residuos provenientes se clasifica en: Alimentos preparados y no preparados, Desechos de jardinería, Aprovechables en papel, plástico y cartón, Caucho y cuero, Textiles, Madera, Vidrio ámbar, transparente, verde y colores, Productos metálicos y Peligrosos.

En el municipio de Facatativa los residuos sólidos urbanos son dispuestos en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, un 37% de estos corresponden a residuos orgánicos que podrían ser tratados de maneras alternativas para no perder esta gran cantidad de material orgánico aprovechable que podría representar ahorros en las tarifas de servicio; el problema radica en que los programas dispuestos por el municipio para el aprovechamiento son limitantes y específicos para los residuos de

carácter orgánico, así como se referencia en la Resolución 754 de 2014 de los parámetros del componente de aprovechamiento, Facatativa no cuenta con un aprovechamiento de residuo sólidos generados por plazas de mercado o residuos de corte de césped y podas de árboles (GV-AQV, 2015). Lo que dificulta un apoyo comunitario y logístico en la creación e implementación de proyectos encaminados a mitigar y aprovechar los residuos orgánicos generados bien sea en comercio o domiciliarios.

Uso de compostaje y aceleradores naturales:

El compostaje se define como el proceso de descomposición biológica de la materia orgánica en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas, que se obtiene a partir de la fermentación de basura orgánica, el material resultante del proceso es un producto color negro, rico en humus y calcio útil como fertilizante orgánico, que puede ser usado como abono agrícola y en el proceso de recuperación de suelos erosionados (Aristizabal 2001).

El proceso de compostaje es llevado a cabo por múltiples organismos descomponedores que comen, trituran, degradan y digieren las células y las moléculas que componen la materia orgánica, quienes interfieren de manera activa en este proceso son las bacterias y hongos microscópicos, también actúan un gran número de pequeños animales, que son importantes para llevar a buen fin el compostaje, como lo son las lombrices, los insectos y otros invertebrados, muchos de ellos no perceptibles a simple vista. (Garibay A. 2013).

Los biopreparados son productos de síntesis biológica que son elaborados a partir de origen vegetal, animal y mineral que aportan propiedades nutritivas y/o repelentes y atractivos de insectos para el control y prevención de enfermedades. Existen gran cantidad de biopreparados que funcionan como aceleradores naturales a los procesos de compost. Su

fabricación disminuye la contaminación ambiental, su nivel de toxicidad es bajo o en ocasiones nulo y las bases de preparación generalmente se encuentran fácilmente, en la mayoría de los casos, catalogando a los biopreparados como una opción de bajo costo permitiendo el aprovechamiento óptimo de los económicos de quien requiera esta alternativa.

Una de sus clasificaciones son los biofertilizantes y/o bioestimulantes que de acuerdo con la cartilla de biopreparados para el mejoramiento de la producción, están hechos a partir de un hongo o bacteria, los cuales viven en simbiosis o asociados con las plantas.

En el caso puntual de los que funcionan como aceleradores de proceso de compost está el Humus Líquido que al ser empleado como descomponedor de desechos o residuos vegetales por su acción de humificación del suelo y además es utilizado como mejorador del pH del suelo e incrementador de la vida de los hongos en el suelo propiciando un entorno ideal para la proliferación de organismos de carácter benéfico como las bacterias y hongos, los cuales obstaculizan el desarrollo de patógenos disminuyendo así el riesgo de enfermedades. Al igual que el Extracto de ortiga, que utilizado como biofertilizante y estimulante, además de ser un activador de compost ya que favorece la descomposición de la materia orgánica, esto debido a que estimula a las lombrices y acelera el proceso de vermicompostaje.

Modelo de Pacas Digestoras:

Las pacas biodigestoras permiten hacer una gestión ecológica de los residuos orgánicos, a la vez que se reciclan los nutrientes, de manera que reducen en gran medida la generación de impactos negativos en el ambiente (Ossa, 2016a). Según Silva, una paca biodigestora funciona como un biofiltro protector, pues “una

capa protectora de hojas que son poco putrescibles, protege a los materiales más putrescibles como los residuos de cocina, los estiércoles, los alimentos en descomposición o sobras de alimentos ya cocinados, con ellos se arma un microecosistema que incuba diversidad de organismos descomponedores, similares a los encontrados en los suelos de los bosques y de esta forma es posible manejar los residuos orgánicos aun dentro de la ciudad” (4º. Taller Seminario Internacional).

Esta alternativa que esta siendo considerada como una idea innovadora para el manejo ecológico de los residuos orgánicos, conocido como Pacas Biodigestoras o Pacas Digestoras Silva tienen un iniciador e impulsor colombiano, el tecnólogo forestal Guillermo Silva, egresado de la Universidad Nacional de Colombia. El modelo ha tenido una gran aceptación en la Universidad de Antioquía, en acciones prácticas, estudios y tesis, así como en organizaciones e instituciones conjuntas que difunden los beneficios que acarrea su uso al ser una técnica sencilla de preparar en cuanto a su contenido e infraestructura y el tamaño, que ha sido uno de los factores que mas ha llamado la atención, puede ser tan pequeño como se necesite, desde unos 50cm^2 , hasta para un área mas extensa. Una paca, alcanza a digerir entre 500 y 600 kg de residuos orgánicos, ocupando un metro cuadrado de suelo.

El proceso de descomposición en las pacas depende directamente de las condiciones ambientales y del microclima circundante que afectan los cambios de la temperatura, la humedad y el pH, los cuales son factores determinantes para analizar el proceso de digestión. La disposición de la materia orgánica en las pacas se efectúa mediante la compactación, lo que garantiza que la disponibilidad de oxígeno sea mínima, mas no nula, pues alguna porción de éste queda latente entre las

partículas del material. Además, la evolución de las pacas se debe dar preferiblemente en condiciones de intemperismo, como un sistema abierto y variable que interactúa con el medio, esto significa que el oxígeno del entorno también interactúa directamente con la paca, pero solo su capa exterior. La capa externa de las pacas siempre debe estar conformada por material vegetal (hojarasca y poda, verde o seca sin necesidad de ser triturada); esta capa cubre y protege debidamente los excedentes de cocina (restos de verduras, frutas, cáscaras o alimentos cocinados) del contacto directo con el oxígeno (Ossa, 2016). En consecuencia, la hojarasca se convierte en un biofiltro protector de los excedentes de cocina, pero igualmente se suma a la materia orgánica disponible para ser degradada, aunque su proceso sea más lento.

Aplicabilidad y beneficios en la comunidad:

El aprovechamiento de los residuos orgánicos por medio de las pacas biodigestoras se puede hacer en dos momentos; durante el proceso de digestión y después del proceso de digestión. Cualquiera de los dos procesos puede generar empoderamiento económico, durante el proceso de digestión podemos utilizar las pacas como huertos urbanos, para el desarrollo paisajístico o como jardineras y después del proceso de digestión se obtiene el abono orgánico como producto final, el cual puede ser utilizado como fuente de nutrientes en los suelos, para el mantenimiento de jardines o como sustrato en las huertas agroecológicas (Ossa, 2016c), así mismo el microecosistema que crea la paca biodigestora permite disponer el material orgánico, tratarlo, aprovecharlo y reincorporarlo en el ciclo biológico generando beneficios a la naturaleza y a las comunidades, los primeros a

través de procesos de biorremediación, reforestación, reciclaje de nutrientes y mejoras en la calidad y biología de los suelos .Así mismo es considerado como un recurso tecnológico limpio, sano y ecológico para descomponer toda clase de excedentes biodegradables como los de cocina, los estiércoles de toda clase de animales, de jardín y de poda de árboles” (Villada & Torres, 2013), esta última técnica es apropiada para ser trabajada en espacios pequeños, centros educativos y huertas caseras, por su facilidad para realizar el proceso, debido a que por tener el material prensado los desechos orgánicos no expulsan gases, ni lixiviado, lo cual hace un compost ecológico en un 100 % desde 32 que la paca digestora quede bien hecha, puede ahorrar gastos y contribuir a mejorar el medio ambiente. (Manuela de compostaje, 2013).

Metodología

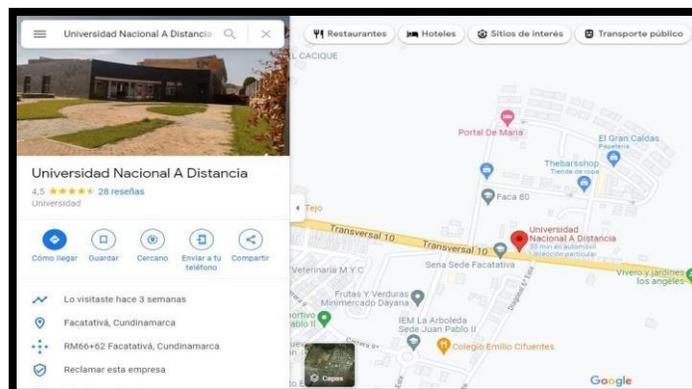
Área de estudio:

El municipio de Facatativá, ubicado en el departamento de Cundinamarca por su ubicación y posición geográfica se delimita en el extremo occidental de la sabanade Bogotá, región centro oriente de la planificación CORPES, en altitudes que oscilan entre los 2.600 m.s.n.m. en su parte plana y los 3.200 m.s.n.m. en sus cerros circundantes, sus coordenadas geográficas son de 4°48'46" latitud norte y 74°21'00" longitud oeste. Planimétricamente se ubica entre las coordenadas rectangulares 1'033.250 N hasta la 1'018.400 N; y entre 979.750 E hasta la 961.750 E. Se encuentra a una distancia de 36 Km. de la ciudad de Bogotá D.C., con la cual se comunica principalmente por medio de la troncal de occidente (POT Facatativá, 2010). Presenta una extensión total de 159.6 Km² (Límites del Municipio fijados de acuerdo a la Ley 62 de 1.939 "PROYECCIÓN CONFORME DE GAUSS" (15.960 Has), de los cuales 154.5 Km² pertenecen a la zona rural, y 5.1 Km² a la zona urbana. Teniendo en cuenta la altura a la que se halla el municipio corresponde al piso térmico frío, tiene un promedio de temperatura media de 14° C., sin que en el año se presenten oscilaciones en su temperatura, mayores de 2° C, durante el día en diferentes épocas del año se observen oscilaciones diarias en algunos casos de más de 10° C. Se notan fuertes fluctuaciones entre los meses secos, caracterizados por fuertes calores durante el día, alrededor de 22° C y heladas durante las noches, a 0° C, en los meses de diciembre y enero en que se observan las heladas (Rubiano, 2010).

Imagen 1

Ubicación geográfica de la universidad nacional abierta y a distancia CCAV

Facatativá y el barrio Portal de María en Facatativá



Fuente: Glooge Maps

En este municipio, se trabajará con la comunidad del barrio Portal de Maria (*imagen 1*), el cual cuenta con cerca de 1.600 viviendas generadoras de residuos orgánicos de los cuales pueden seleccionarse algunos de estos residuos para crear y procesar junto con los aceleradores de procesos las pacas biodigestoras que estarán ubicadas en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD CCAV Facatativa, que se encuentra ubicada en el mismo barrio Portal de Maria en la Transversal 11# 5 – 35 (*imagen 1*).

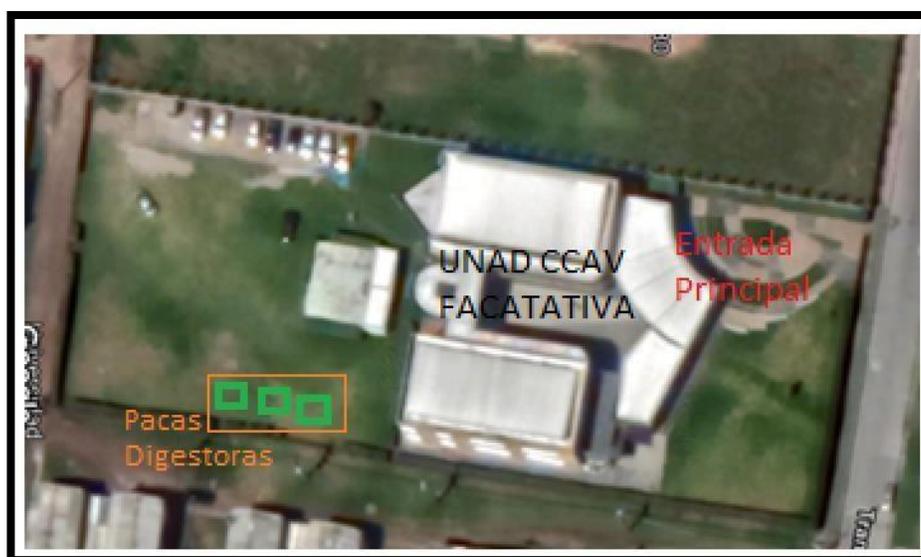
Para evaluar las características fisicoquímicas de las pacas digestoras nos guiaremos por lo expuesto por Jaramillo (2008), quien menciona las cuatro fases que se evidencian en el proceso de compostaje, de igual manera para la construcción de las pacas haremos referencia a lo experimentado por Ossa (2016) en la Universidad de Antioquia; a través de compostaje con la inclusión de dos aceleradores de proceso que en este uso aportan una gran cantidad de microorganismos y pueden obtenerse fácilmente creando tres pacas biodigestoras

con residuos orgánicos domiciliarios (residuos de alimentos).

Cada paca tendrá un área de $50\text{cm}^2 \times 50\text{cm}^2$ y una altura de 0,50m y estarán ubicadas en la parte trasera de la UNAD CCVAV Facatativá (*imagen 2*), en un área verde con un corredor de arbusto delimitando la zona de la universidad.

Imagen 2

Ubicación geográfica de las tres pacas digestoras en las instalaciones de la UNAD Facatativá.



Fuente: Google Maps

Identificación de las alternativas de aceleradores orgánicos para sistemas de compostaje aplicables a las pacas digestoras

En la identificación de los posibles aceleradores a ser usados se analizaron dos factores importantes, su facilidad y preparación y la eficiencia aplicada a características de compostaje. En este sentido, los BIOPREPARADOS son una de las alternativas más viables y particularidad, poco aplicadas a proyectos de

compostaje, pues su uso principal es el acondicionamiento para los cultivos agrícolas.

En el manual de biopreparados para el manejo de la producción, los define como productos de síntesis biológica elaborados a partir de restos vegetales y minerales, que tienen propiedades nutritivas para las plantas.

Para su elaboración se usan productos básicos y orgánicos, que son de fácil acceso, como en este caso los residuos domiciliarios de una familia cotidiana, como cascaras de hortalizas y frutas, entre otros.

Entre las ventajas destacables de los biopreparados esta su fabricación, pues disminuye la contaminación ambiental debido a las sustancias biodegradables que se emplean con nula o baja toxicidad, además de poder ser preparados por personas del común. Razones por las cuales se tomó la iniciativa y decisión de incluirlos al proyecto aplicado, ya que las bases de preparación generalmente se encuentran a disposición, siendo una opción de bajo costo, lo que genera un mayor beneficio a la comunidad, al no tener que invertir un presupuesto elevado en un acelerador.

Selección y obtención de los aceleradores aplicables a las pacas #1 y #2:

De acuerdo con la consulta, y relacionando los beneficios, preparación y tiempos de obtención mencionados en el *manual de biopreparados para el manejo de la producción*, se seleccionaron 2 tipos para ser incluidos en cada paca digestora:

Extracto de Ortiga para ser incluido en la paca digestora #1

- Humus Líquido para ser incluido en la paca digestora #2
- Biopreparado acelerador #1: Extracto de ortiga

Preparación:

Guiados por el *manual de biopreparados para el manejo de la producción* se necesita:

- 10Litros de agua potable
- 1Kg de tallos y hojas de ortiga
- 1 recipiente plástico

Se debe mezclar la ortiga, los tallos y hojas cortados en trozos pequeños y sin rastros de tierra, en con el agua en el recipiente y dejarla reposar durante 4 días en un lugar fresco y seco sin taparla (imagen 3); una vez transcurrido el tiempo se debe filtrar el contenido en botellas de menor tamaño para ser usado en las pacas.

Imagen 3

Tallos y hojas de ortiga 1Kg, sumergidas en un recipiente plástico con 10L de agua.



Fuente: Autoría propia

Uno de los beneficios a reconocer y bastante aplicable para el modelo de las

pacas digestoras del extracto de ortiga es un gran activador de compost ya que favorece la descomposición de la materia orgánica.

Biopreparado acelerador #2: Humus Líquido

Preparación:

Guiados por el *manual de biopreparados para el manejo de la producción* se necesita:

- ½ Kg de humus de lombriz.
- 2.5 Litros de agua lluvia o estancada.
- 1 balde plástico
- 1 mezclador de madera

Se debe mezclar ½ Kg de humus de lombriz con 2.5 Litros de agua en el balde y dejarlo reposar durante 48 horas en un lugar fresco y oscuro (*imagen 4*); transcurrido el tiempo se debe filtrar el contenido del balde por un lienzo y re envasar el líquido en recipientes oscuros.

Imagen 4

Recipiente de plástico con 2.5L de agua, humus solido de lombriz 500g y la incorporación de ambos y el agitador de madera para mezclar y crear la solución.



Fuente: Autoría propia

El aporte en beneficio del humus líquido en las pacas digestoras es su característica como descomponedor de desechos y residuos vegetales por su acción de humificación del suelo.

El aporte en beneficio del humus líquido en las pacas digestoras es su característica como descomponedor de desechos y residuos vegetales por su acción de humificación del suelo.

Cálculo del volumen de residuos a tratar:

En el barrio Portal de María (*imagen 1*), se distribuyen grupos de torres y casas identificadas con diferentes colores, en la suma total de apartamentos y casas, cada torre con un total de 6 pisos divididos en 4 apartamentos por cada uno de los pisos para un total de 24 familias por torre se registra cerca de 1.600 viviendas generadoras de residuos orgánicos. De acuerdo por el (DANE.2020) la estimación promedio de habitantes por familia se registra en 3.5 (*Formula 1*), eso multiplicado por las 1.600 viviendas, daría como resultado aproximado de 5.600 personas, entre adultos, adultos mayores, jóvenes y niños que constituyen los diferentes núcleos familiares, que diariamente generan residuos peligrosos, orgánicos e inorgánicos o incluso de carácter especial. Como punto principal del proyecto, se trabajó en los residuos orgánicos domiciliarios siendo estos el principal ingrediente para las pacas digestoras.

Para el inicio y proceso del proyecto, se estableció comunicación con la administradora de las torres azules (*imagen 5*) del barrio, quien junto con los habitantes de dichas torres, expresaron su interés colaborativo e integral de unirse al proceso de identificación de residuos orgánicos, situación que se planteó una

encuesta informativa por parte del semillero de investigación Metaforfo para dimensionar e instruir a las personas residentes en el concepto de residuos, residuos orgánicos aprovechables, no aprovechables, peligrosos o de carácter especial. Como resultado se obtuvo la participación de 26 familias de las torres azules del barrio Portal de María, que voluntariamente decidieron unirse al inicio y proceso del proyecto.

Las pacas digestoras funcionan a través del prensado de los residuos, orgánicos domiciliarios obtenidos y otros elementos que al ser mezclados actúan correctamente en esta metodología, estas pacas se componen 50% de residuos orgánicos (como cáscaras y residuos de frutas y verduras, cáscaras de huevo, semillas, entre otros), estas serán mezcladas con un 50% de residuos de jardín (hojarasca, ramas, hierba) y para en el caso de las pacas #2 y #3 con una adición de biopreparados con la función de actuar como aceleradores de procesos de compostaje, todo esto en un cubo de $0,50\text{m}^2$ aproximadamente, de esta manera, se permite el cultivo de microorganismos e insectos que obtienen energía de los residuos orgánicos y generan el proceso de descomposición.

Para la estimación del cálculo de residuos orgánicos a tratar se consultó información propia del municipio con datos pertinentes como la producción per cápita, La producción per cápita, PPC, definida como la cantidad generada de residuos por un habitante por día ($\text{Kg}/[\text{habitante} \cdot \text{día}]$). Los métodos utilizados para estimar la PPC (número de cargas, peso-volumen y balance de masas) tienen en cuenta la cantidad de residuos generados por día y el número de habitantes del área en estudio (Zafra 2009). Estimando frecuencias en tiempo de 7 días, junto al número total de

familias participantes y el promedio de habitantes en cada una.

De acuerdo con los datos obtenidos, se formuló lo siguiente:

3.1. Formula 1. Volumen de residuos orgánicos producidos por 26 familias en unasemana.

- Producción Per Cápita (PPC) = 0,47Kg/Habitante/día
- Frecuencia = 7 días (1 semana)
- Peso Específico = 291Kg/m³
- Promedio de Habitantes por familia = 3,5
- Familias participantes = 26

$$\begin{aligned}
 & \underline{0,47Kg} \\
 = & \frac{hab}{dia} * 3,5 = 1,64Kg \text{ de residuos por Familia al día} \\
 & 1,64Kg * 7 \text{ días} = 11,48Kg \text{ por familia en 1 semana} \\
 & 11,48Kg * 26 \text{ Familias} = 298.48Kg
 \end{aligned}$$

- Total: 298,48 Kg de residuos orgánicos de 26 familias en 1 semana.

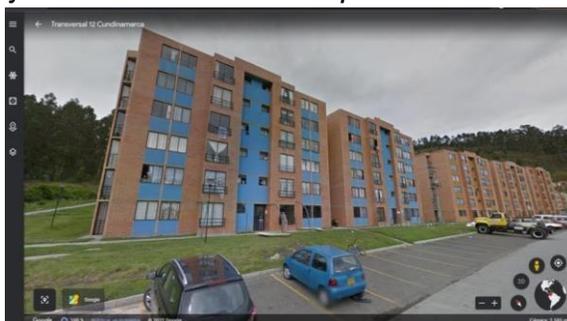
Con esta técnica se logra procesar cerca de un cuarto de tonelada (o 250 kilogramos) de residuos orgánicos en tan solo medio metro cúbico de espacio por cada una de las pacas, sin alterar su medio alrededor, al contrario, aportando una solución de manera natural y sostenible.

Las familias que participaron en la recolección de los residuos orgánicos están ubicadas mayormente en las torres azules (imagen 5), cada torre con un total

de 6pisos divididos en 4 apartamentos por cada uno de los pisos para un total de 24 familias por torre.

Imagen 5

Torres azules conjunto residencial barrio portal de maría (Facatativá),



Fuente: Google Maps

Construcción de las pacas:

De la mano con la comunidad del barrio Portal de María se realizó la construcción del molde para las pacas digestoras (*imagen 6*), con madera reciclada y materiales económicos y sostenibles, este molde no tiene cobertura en la parte superior ni en la inferior, esta última permitiendo la interacción directa con el suelo en su “base”; los laterales si están sellados para permitir su característica forma cuadrada y facilitar la compactación de los materiales que la componen.

Imagen 6

Molde “cubo” de dos pacas digestoras ubicados en campo en las instalaciones de UNAD CCAV Facatativá



Fuente: Autoría propia

Metodología de llenado para las pacas digestoras

Teniendo el molde y conservando las medidas de dimensión de la paca haremos una base, comenzado a poner dentro los palos, ramas y troncos firmes de manera horizontal formando una rejilla, de esta manera se podrá distanciar un poco la paca digestora e la humedad del suelo en donde será ubicada y también servirá como sistema de drenaje de agua.

Imagen 7

Base de ramas en contacto directo con el suelo en las pacas digestoras



Fuente: Autoría propia

Ahora bien, procedemos al llenado de nuestras pacas, en un orden de “pacas”, teniendo en cuenta que la primera capa de residuos de jardín se acomoda a manera de nido, haciendo que la capa siguiente de residuos orgánicos quede concentrada mayormente en el centro de la paca, los residuos de jardín serán los que quedan expuestos en los laterales, y se continúa llenado repitiendo los residuos y tierra; algo así como un “lasaña” prensando muy bien cada cama para dar paso a la siguiente esta manera:

- Rejilla de palos y ramas (Imagen 7)

- Residuos de jardín (Imagen 8)
- (Prensa)
- Residuos orgánicos (Imagen 9)
- (Prensa)
- Tierra
- Biopreparado (Para el caso de las pacas #2 y #3)
- (Prensa)
- Residuos de jardín
- (Prensa)
- Residuos orgánicos
- (Prensa)

De esta manera se repite el proceso hasta que nuestro molde este lleno hasta la superficie

Imagen 8

Capa de residuos de jardín acomodada a manera de nido



Fuente: Autoría propia

Imagen 9

Inclusión de residuos orgánicos, ubicándolos en el centro del “nido” formado con los residuos de jardín



Fuente: Autoría propia

Imagen 10

Paca digestora con la última capa de residuos de jardín sin compactar.



Fuente: Autoría propia

Imagen 11

Paca digestora con la última capa de residuos de compacta.



Fuente: Autoría propia

Estas 3 pacas digestoras se aislaron de factores externos, durante el primer mes de proceso, por medio de una cobertura construida de manera artesanal (Imagen 12) con plásticos bases de manera, esto con el fin de protegerlas de las condiciones climáticas externas como la precipitación excesiva.

Imagen 12

Las 3 pacas digestoras ubicadas y llenas cubiertas con plástico.



Fuente: Autoría propia

Tabla 1.

Clasificación y caracterización de las pacas digestoras en campo

Paca Digestora #1	Biopreparado#1	Acelerador de Humus liquido
Paca Digestora #2	Biopreparado#2	Acelerador Extracto de ortiga
Paca Digestora #3	Blanco	Condiciones normales de aireación, natural y sin adición de acelerador, esto con el fin de evaluar el tiempo de maduración del compost sin ningún tipo

Fuente: Autoría propia

Características fisicoquímicas:

Para la toma de datos, control semanal y análisis de resultados, se tuvieron en cuenta las siguientes características físicas químicas:

Temperatura:

La temperatura del compostaje es derivación del tipo de proceso y sirve como indicador del funcionamiento (Gomez, 2018).

La actividad biológica generada por los microorganismos produce el aumento de la temperatura, el incremento de la temperatura indica un material con óptimas condiciones; los cambios de temperatura en el proceso de compostaje suministran información directa del mismo. De acuerdo con Prieto, 2019 el mantener unas óptimas condiciones de temperatura en el curso del compostaje nos garantiza una actividad microbiana adecuada, logrando también en el desarrollo la inhibición de microorganismos patógenos como bacterias, hongos y huevos de parásitos que se pueden encontrar en las materias primas utilizadas para el compostaje.

Humedad:

La humedad media debe estar en 60%, esta es proporcionada por la cantidad de agua del material a compostar, es fundamental mantener el agua para que los microorganismos aprovechen las moléculas que se encuentran disueltas en ellas, el agua fomenta la migración y colonización de los microorganismos (FAO, 2019).

pH:

Parámetro para evaluar las condiciones del proceso y la estabilización de los residuos, el valor varía dependiendo de la fase en la que se encuentre, al inicio del proceso de compostaje el pH se encuentra entre 6-7 y esta disminución está

mediada por la producción de ácidos orgánicos. Durante la fase termofílica en pH puede llegar a subir hasta 8-8,5 para terminar con un pH en la fase de maduración de 7-8. (FAO, 2019)

Tiempo:

Esta característica no está sujeta a un determinado valor, ya que depende de otras consideraciones para ser evaluada. Es condiciones normales se proyecta en un rango de 40 a 70 días.

Factibilidad:

Sera evaluada de acuerdo al progreso y características de cada una de las pacas, lo que involucra si son aptas para ser aplicadas y construidas en espacios como parques, zonas verdes comunes residenciales, jardines, universidades, colegios, entre otros, al no generar fuertes olores, lixiviados, propagación de vectores como roedores, y su uso final como artículo natural paisajístico para la posible construcción de huertas urbanas usando este cubo de material orgánico degradado y con altos niveles aprovechables en suelos.

Proyección estadística en rangos de pH vs. Tiempo:

Con los registros tomados durante las 12 semanas en el factor de pH, se podrá crear un análisis de proyección estadístico en un modelo de correlación lineal, el cual reflejará el comportamiento en variación de pH para cada paca, de acuerdo al promedio, y en relación con transcurrir del tiempo de las próximas 5 semanas, con el fin de completar 15 semanas y evaluar los rangos adecuados que se puedan aplicar para suelo abonado, sobre todo en valores aceptables de 6.9 a 7.2.

Para tal fin se implementó un pHmetro en la toma de los datos como

temperatura, pH y humedad. Obteniendo valores reales de de las características fisicoquímicas, adicional otros indicadores como el olor, color, y textura se identifican por referencia propia al sentido de quien está registrando los datos.

El tiempo de control y proceso de las pacas digestivas está en un rango de 2 a 3 meses teniendo en cuenta la temperatura del área de estudio y factores externos que puedan incidir en las mismas. Finalizado este tiempo se realizará análisis físico químico de cada una de las pacas para determinar su factibilidad en relación de tiempo y promedio de datos obtenidos.

Participantes:

- Tutora Mery Rocio Fonseca Lara
- Estudiante Valeria Antury Abello
- Comunidad residente en el barrio Portal de Maria en Facatativa

Resultados y discusión

Mes #1 Septiembre – Octubre 2021:

En el transcurso de este primer mes el control de las características en las pacas digestoras se realizó una vez en la semana, para obtener en total 4 mediciones en el mes.

Tabla 2.

Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras primer mes de septiembre a octubre 2021

Paca	Parámetro/ Frecuencia	Fecha	Hora	Humedad	Temperatura	pH	Color	Olor	Textura
Paca #1	Semana 1	Sep.09 2021	11:00 am	Húmedo	19.7 °C	7.1	Oscuro	Neutro	Seco
	Semana 2	Sep.24 2021	10:15 am	Muy húmedo	17°C	4	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 3	Oct, 01 2021	11:00 am	Muy húmedo	18°C	5	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 4	Oct.08 2021	2:20 pm	Muy húmedo	18°C	4	Oscuro	Neutro	Húmedo
Paca #2	Semana 1	Sep.09 2021	11:14 am	Húmedo	22.6°C	7	Oscuro	Neutro	Seco
	Semana 2	Sep.24 2021	10:16 am	Muy húmedo	18°C	4.5	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 3	Oct, 01 2021	11:08 am	Muy húmedo	18°C	3.5	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 4	Oct.08 2021	3:03 pm	Muy húmedo	19°C	4	Oscuro	Neutro	Húmedo
Paca #3	Semana 1	----	--	-----	-----	---	---	----	-----
	Semana 2	Sep.24	10:20 am	Muy húmedo	27°C	4	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 3	Oct, 01 2021	11:00 am	Muy húmedo	24°C	4	Oscuro	Neutro	Húmedo
	Semana 4	Oct.08 2021	10:30 am	Muy húmedo	21°C	4.5	Oscuro	Neutro	Húmedo

Fuente: Autoría propia

Es de resaltar que la construcción y llenado de la paca #3-Blanco se hizo una semana después en comparación con las 2 primera, esto debido a la falta de residuos orgánicos en su momento, se procedió a realizar la misma metodología con la comunidad del barrio Portal de Maria para la recolección de nuevos residuos orgánicos en 7 días y completar el nivel de estos para el llenado de la paca.

En consideración con el horario de toma de muestras, en un 90% se realizaron en horario de la mañana, entre las 10:00am y 11:00am, dentro de ese horario las condiciones climáticas estuvieron normales, soleado y parcialmente nublado sin precipitaciones de ningún tipo.

El factor común registrado en el horario de la tarde y noche fueron las lluvias potenciales, trayendo como consecuencia que los factores fisicoquímicos para evaluar en las pacas digestoras pueden variar debido a factores externos como la precipitación fuerte y abundante, que es en concordancia lo sucede con mucha frecuencia en el municipio de Facatativá, Cundinamarca al pertenecer a la gran sabana de occidente.

De acuerdo con las características de:

- Olor: No se registran olores fuertes ni molestos, el olor es neutro para el caso de las 3 pacas y durante estas 4 primeras semanas se mantiene.
- Color: Se observa un color oscuro, para el caso de las 3 pacas y durante estas 4 primeras semanas se mantiene.
- Textura: Se analiza humeda en para el caso de las 3 pacas y durante estas 4 primeras semanas se mantiene, causado principalmente por las fuertes lluvias registradas en este tiempo.

Adicionalmente no se evidencio que se generar algún tipo de vector, moscas o roedores, alrededor, cerca o en las pacas; como factor favorecedor se observaron animales propios del proceso de compost como lombrices y los comúnmente llamados “marranitos” entre otros identificables, haciendo un punto positivo su presencia en las pacas digestoras.

- **Mes #2 Octubre – Noviembre 2021:**

Pasados 32 días se retiran los moldes de las pacas dejando ver un “cubo verde” compactado con material que aun continua en proceso de compost, las características positivas son el resultado de no sentir ningún olor, ni lixiviado (imagen 13).

Debido a las constantes lluvias en el municipio de Facatativa, se registra su humedad y textura en clasificación “muy húmedo”, sin embargo, la disminución del volumen original del día 1 es significativa, razón que nos apunta a que se está realizando internamente una buena acción en su proceso de compost.

Imagen 13

Las 3 pacas digestoras sin los moldes de madera y conservando su forma de cubo compactadas.



Fuente: Autoría propia

De acuerdo con la evolución de las pacas digestoras, se analiza que toda la materia vegetal como la tierra, hojarasca, ramas y residuos de jardín que fueron adicionados y compactadas quedaron expuestas en la parte “superficial” de la paca, con el fin de crear una cara o biofiltro protector e impedir el paso de aire a los residuos orgánicos ya que, en su presencia, el aire los vuelve factibles a la pudrición; de igual manera esta hojarasca se suma a los materiales en proceso de degradación y compostaje pero con un periodo más largo en su proceso.

Imagen 14

Paca digestora evidencia de las capas, superficie con residuos de jardín y laterales sin residuos orgánicos visibles



Fuente: Autoría propia

Una vez se ha retirado el molde que compactaba y protegía de los factores climáticos externos a las pacas biodigestoras, se empieza a reconocer que el proceso de compostaje que ocurre en ella se presenta bajo condiciones anaerobias no estrictas, esto debido a que sin el molde dichas pacas están aún más expuestas y cercanas a las corrientes de aire, agua, lluvia y demás factores climatológicos que pueden inferir su

proceso de degradación y transformación a compost.

Imagen 15

Las pacas digestoras protegidas por un techo en plástico y bases demadera.



Fuente: Autoría propia

En el transcurso del segundo mes, el control de las características en las pacas digestoras se realizó una vez en la semana (Tabla 3), para obtener en total 4 mediciones en el mes.

Tabla 3

Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras segundomes de octubre a noviembre de 2021.

Paca	Parámetro/ Frecuencia	Fecha	Hora	Humedad	Temperatura	pH	Color	Olor	Textura
Paca #1	Semana 1	Oct. 15 2021	1:30 pm	Muy Húmedo	17 °C	5.0	Café	Nulo	Húmedo
	Semana 2	Oct. 23 2021	10:24 am	Muy Húmedo	17°C	5.0	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Oct, 29 2021	11:00 am	Muy húmedo	18°c	4.5	Café	Neutro	Semi Seco
	Semana 4	Nov. 06	2:06p m	Muy Húmedo	18°C	4.5	Café	Neutro	Semi Húmedo
Paca #2	Semana 1	Oct. 15 2021	1:31 pm	Muy Húmedo	19°C	4.5	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 2	Oct. 23 2021	10:24 am	Muy húmedo	17°C	4.0	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Oct, 29 2021	11:08 am	Muy húmedo	18°C	5.0	Café	Neutro	Semi Seco
	Semana 4	Nov. 06	2:08 pm	Húmedo	19°C	5.0	Café	Neutro	Semi Seco
Paca #3	Semana 1	Oct. 15 2021	1:33 pm	Muy Húmedo	20°C	5.0	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 2	Oct. 23 2021	10:27 am	Muy húmedo	19°C	4.5	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Oct, 29 2021	11:10 am	Muy húmedo	20°C	4.5	Café	Neutro	Semi Seco
	Semana 4	Nov. 06	2:10 pm	húmedo	22°C	5.0	Café	Neutro	Semi Seco

Fuente: Autoría propia

Los cambios en las variables a evaluar que se han registrado en este segundo mes de control se han evidenciado mayormente en la paca #3 (Paca Blanco), pues en lo transcurrido de estas semanas se registra que es la paca que a mantenido el nivelde temperatura mas alto en comparación las otras dos, a las cuales se le adicionaron los aceleradores.

De acuerdo con las características a evaluar en factibilidad:

- Olor: No se registran olores fuertes ni molestos, el olor es neutro para el caso de las 3 pacas y durante estas 8 semanas se mantiene.
- Color: Se observa un color oscuro, para el caso de las 3 pacas y durante estas 8 semanas se mantiene
- Textura: Se analiza húmeda en para el caso de las 3 pacas y durante estas 7 semanas, causado principalmente por las fuertes lluvias registradas en este tiempo, en la semana 8, con menor precipitación, se observa y siente un estado “semi seco”.

Adicionalmente no se evidencio algún tipo de vector, moscas o roedores, alrededor, cerca o en las pacas; como factor favorecedor se siguen observando animales propios del proceso de compost como lombrices y los comúnmente llamados “marranitos” entre otros identificables, haciendo un punto positivo su presencia en las pacas digestoras, además del nacimiento interior de hierbas, y brotes de plántulas en los laterales, que pueden ser por las semillas de algunas frutas o verduras incluidas en la materia orgánica.

- **Mes #3 Noviembre - Diciembre 2021:**

Durante el tercer mes, y después de 20 días sin moldes, las pacas se observan igualmente compactadas, ahora con una textura mas seca en las “capas superiores” y húmeda en la capa en contacto directo con el suelo. Además de haber disminuido notablemente su volumen en altura, ocasionado por el proceso de compost.

Imagen 16

Un punto de medición de parámetros con el pHmetro en el centro e interior de la paca



Fuente: Autoría propia

Imagen 17

Disminución del volumen en altura de la paca digestora, color superficial café claro



Fuente: Autoría propia.

Tabla 4

Registro de variables fisicoquímicas para las pacas digestoras tercer mes de noviembre a diciembre de 2021.

Paca	Parámetro/ Frecuencia	Fecha	Hora	Humedad	Temperatura	pH	Color	Olor	Textura
Paca #1	Semana 1	Nov. 13 2021	10:31 am	Húmedo	16 °C	5.5	Café claro	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 2	Nov. 20 2021	3:00 pm	Húmedo	18°C	7.5	Café claro	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Nov. 27 2021	2:00 pm	Húmedo	17°C	7.3	Café claro	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 4	Dic. 04 2021	2:06 pm.	húmedo	18°C	7.2	Café claro	Neutro	Semi Seco
Paca #2	Semana 1	Nov. 13 2021	10:35 am	Muy Húmedo	19°C	4.5	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 2	Nov. 20 2021	3:05 pm	Húmedo	17°C	7.0	Café claro	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Nov. 27 2021	11:08 am	Muy húmedo	18°C	7.2	Café	Neutro	Semi Seco
	Semana 4	Dic. 04 2021	2:08 pm	Húmedo	19°C	5.0	Café claro	Neutro	Semi Seco
Paca #3	Semana 1	Nov. 13 2021	10:37 am	Muy Húmedo	20°C	5.0	Café	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 2	Nov. 20 2021	3:08 pm	Húmedo	18°C	7.1	Café claro	Neutro	Semi Húmedo
	Semana 3	Nov. 27 2021	2:11 pm	Húmedo	17°C	7.2	Café	Neutro	Semi Seco
	Semana 4	Dic. 04 2021	2:10 pm	Húmedo	18°C	7.2	Café claro	Neutro	Seco

Fuente: Autoría propia

En este último mes, 88 días de proceso de compostaje en las pacas con aceleradores #1 y #2, y 77 días en la paca de control #3, los valores en factores fisicoquímicos para las 3 pacas estuvieron a puntos casi “iguales” estandarizando las condiciones características en los 3 casos, sin clasificación de su composición

interior, como es el caso de las pacas 1 y 2 con aceleradores, o del tiempo, para caso de la paca #3.

Un resultado a estos datos es la estandarización de las características fisicoquímicas evaluadas en los 3 casos, pues no parece influir de manera notable el uso de este tipo de aceleradores para las pacas construidas, con diferencia de 10 días y sin acelerador la paca control #3 logro avanzar rápidamente y ajustarse al ritmo, e incluso con una variedad de temperatura alta y pH neutro, a las 2 pacas construidas antes y con un posible beneficio del proceso.

Imagen 18

Disminución del volumen en altura de la paca digestora, Febrero 12/2022



Fuente: Autoría propia

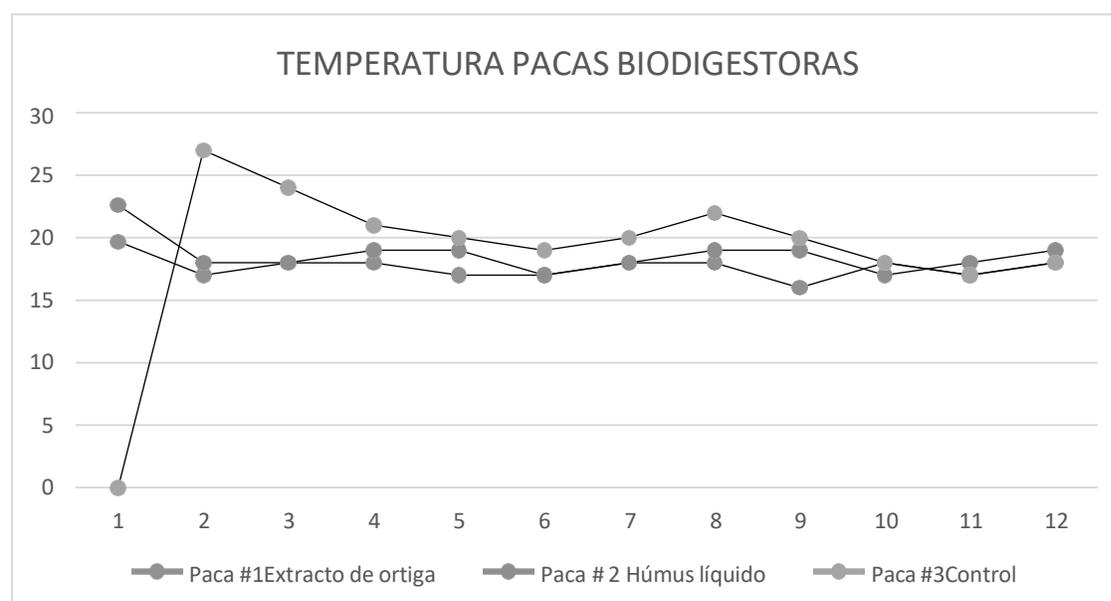
En los meses de octubre a diciembre, al exponer las pacas digestoras directamente al medio ambiente, con fluctuaciones de aire externas filtradas al interior de las pacas, que en un principio y debido a su estricta compactación, se eliminaron intencionalmente burbujas y concentraciones de aire y oxígeno para

garantizar el proceso de descomposición anaerobio característico de la fisiología de una paca digestora silva, se favoreció el crecimiento de microorganismos anaerobios facultativos, los cuales son capaces de vivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno molecular y aunque no lo usan para su crecimiento ni obtención de energía, éste no les es tóxico (Decheco E., 2011). Análisis y comportamiento de las variables fisicoquímicas:

1. Temperatura y humedad:

Grafica 1

Registro de datos de Temperatura de las pacas biodigestoras en 12 semanas



Fuente: Autoría propia

De acuerdo con los datos obtenidos y agrupados en el grafica 1, los valores de temperatura se comportaron durante 12 semanas de proceso:

- Para la paca 1 promedio de temperatura fue de 18°C con su máxima en 20°C y su mínima en 16°C, ocasionando una diferencia de 4°C durante el tiempo de

proceso de compost, haciéndola la paca con menor temperatura registrada.

- Para la paca 2 promedio de temperatura fue de 19°C con su máxima en 23°C y su mínima en 17°C, ocasionando una diferencia de 6°C durante el tiempo de proceso de compost.
- Para la paca 3 promedio de temperatura fue de 21°C con su máxima en 27°C y su mínima en 17°C, ocasionando una diferencia de 10°C, caracterizándola como la que tuvo un cambio más significativo en comparación con las otras
- y teniendo en cuenta que fue construida con 1 semana de diferencia, haciéndola la paca con menor temperatura registrada.

El proceso de descomposición se empezó a relacionar y depender directamente de los escenarios ambientales y del microclima variable, condiciones que fueron determinantes para analizar el proceso de digestión y el tiempo de descomposición, debido a que varían durante la fermentación de los compuestos orgánicos ocasionado por las altas precipitaciones del municipio de Facatativá, lo que influyó mayormente en el factor de humedad, sumado lo registrado en el informe anual municipal del DANE 2021, donde se relacionó que el mes con mayor humedad relativa y el mes con el mayor número de días lluviosos del año 2021 en el municipio de Facatativá, fue noviembre con mayores registros de precipitación en 26.5 días de los 30 días calendario mes.

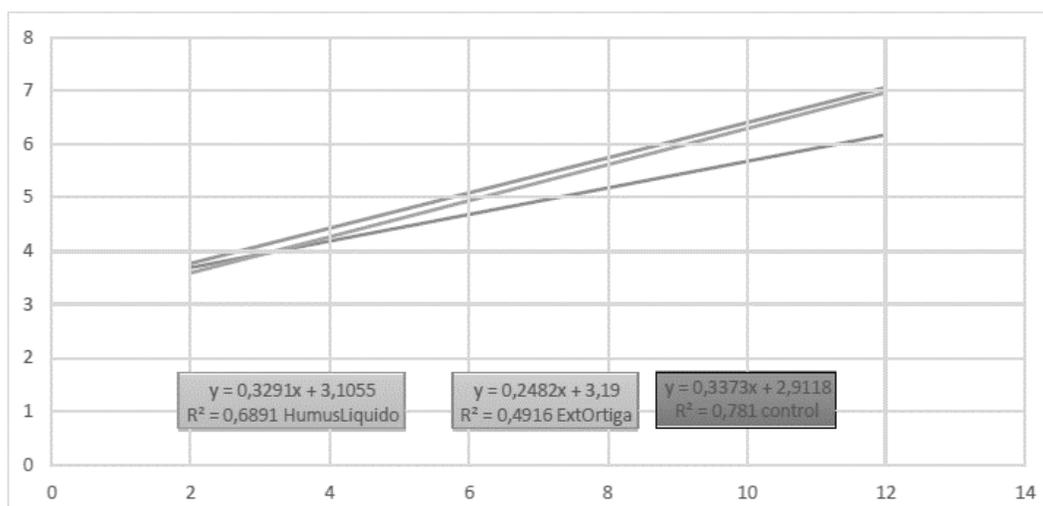
Condiciones climatológicas que emparejadas a composición líquida de los biopreparados aplicados en las pacas #1 y #2 afectaron su composición interna demostrado en los valores obtenidos para el factor de humedad, manteniéndolo en un 70%, en relación con el tiempo, en registro muy húmedo.

La paca de control #3 tuvo su proceso sin humedad “adicionada intencionalmente”, influyendo únicamente el factor ambiental externo del municipio; razón por la cual, sus registros de parámetros fisicoquímicos se estandarizan con rapidez, comparados a las otras dos pacas, provocando que los 10 días de diferencia tardía en proceso de construcción no tuvieran mayor incidencia en su rendimiento.

2. pH y tiempo:

Grafica 2

Modelo de correlación lineal para determinar el comportamiento del PH en el tiempo.



Fuente: Autoría propia

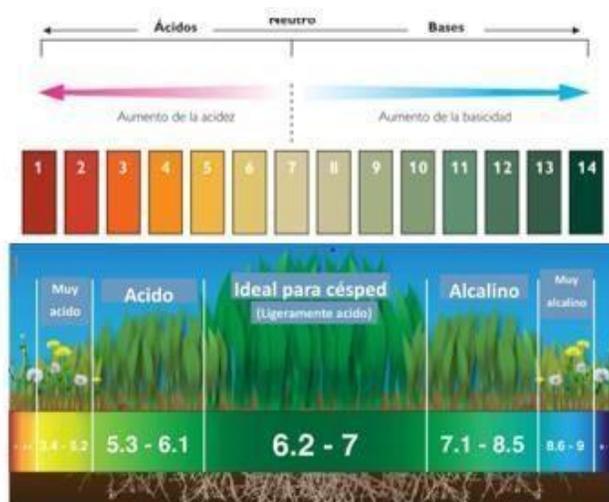
En la medición del pH inicialmente se registró un promedio de las 3 pacas en 6.9 para las primeras 3 semanas, debido a sus resultados muy similares en las siguientes semanas de muestra registrando un pH 3.5, 4.0 y 4.5, sin embargo, el pH cambia por diferentes razones; normalmente disminuye por la secreción de ácidos orgánicos como acéticos y lácticos durante el proceso (Domenech, 2000).

Durante los primeros 40 días de proceso, los valores de pH obtenidos oscilaron entre 5.0, y 3.5, reflejando un medio donde hay actividad fermentadora y por ende, generación de ácidos orgánicos, como el ácido acético, que más que acidificar el sustrato, su producción permite desinfectar y sanear la materia orgánica en digestión. De acuerdo con Pastrana, 1996, valores de pH entre 3.0 y 6.0 en procesos de compostaje, favorecen el crecimiento y la actividad fermentativa.

Llegados los 80 a 96 días de proceso, el pH registrado para las 3 pacas, se mantuvo en la neutralidad con valores promedio entre 7.0 y 7.5, que de acuerdo con la imagen 19, genero una progresiva alcalinización del medio debido a la pérdida de ácidos orgánicos en la medida en que el material se va estabilizando, lo que hace que finalmente el debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón o de amortiguamiento (Sánchez et al., 2001).

Imagen 19.

Escala de pH y valores óptimos para tierra comportada en cultivo



Fuente: Ecohortum, 2016

Un pH entre 3 y 6 siempre favorece el crecimiento y la actividad fermentativa

(Pastrana, 1996). Aunque en la mayoría de las bacterias el crecimiento óptimo es entre 6.5 y 7.5, muy pocas bacterias crecen a un pH menor de 4.0. El pH aumenta hasta valores entre 8 y 9, por la formación de amoníaco y la desaminación de las proteínas, aparte aumentos fuertes de pH facilitan la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal. Cuando el pH se sitúa en torno a 7 y 8, es porque el compuesto ha llegado a su fase de maduración o porque la temperatura ha inhibido la actividad biológica (Agreda & Deza, 2006). Los cambios en las variables a evaluar que se han registrado en este tercer mes de control, con relación al pH hubo un cambio notable de rangos que se mantuvo a lo largo de las 3 últimas semanas con puntos de 7.0 a 7.3 en todas las pacas.

3. Factibilidad:

En cuanto a la factibilidad de los aceleradores, los residuos orgánicos domiciliarios contienen más de un 40% de materia orgánica en su composición, el efecto generado en la paca #1, es debido a que los suelos tienen contenidos bajos de materia orgánica (< 3%) se debe aplicar abonos sólidos de humus de lombriz o compost (Ormeño 2007), por otro lado los abonos líquidos anaeróbicos que generalmente son ácidos; sobre ello Uribe, L. (2003) señala que en los biofermentos(aneróbicos), durante el proceso de fermentación ocurre una caída drástica del pH y así junto con la escasa disponibilidad de oxígeno, se crean condiciones sólo para la flora microbiana capaz de crecer en un medio anaeróbico, factor clave y consecuente de la adición de humus líquido y resultante de que no genera un cambio significativo en su función principal como acelerador, de acuerdo con Chilon, E., & Chilon, J. 2016 la obtención de abonos orgánicos líquidos bajo

condiciones aeróbicas, con presencia de oxígeno, es posible con la participación de bacterias aeróbicas y otros microorganismos que realizan labiosíntesis de compuestos, ácidos orgánicos y enzimas a partir de las sustancias presentes en sustratos pre- humificados caso del compost, humus de lombriz y estiércol bien descompuesto (Chilon, E. 2014). Se conoce que mediante el metabolismo microbial se desintegran los compuestos orgánicos y complejos minerales, liberando nutrientes y volviéndolos disponibles para las plantas; también se lleva a cabo la biosíntesis de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y otras sustancias que favorecen el crecimiento de los cultivos y la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas (Primavesi, A. 1984; Alexander, M. 1994; Chilon, E. 2011, 2013).

Luego de 91 días, en proyecciones acordes a los datos registrados y promedio reflejados en la tabla 5 y de acuerdo a la gráfica #2, representando el modelo de correlación lineal para determinar el comportamiento del PH en el tiempo, medido en 15, la variable independiente es el tiempo (x) y a dependiente es el ph (y).

El pH pasara de ser neutro a ligeramente alcalino, característica que no es factible con un resultado de compost útil para post tratamiento, por lo que fue descartado por una descomposición irregular de materia orgánica bajo condiciones ambientales drásticas y limitantes de una descomposición normal, caso de exceso de humedad y frío excesivo.

Tabla 5

Registro de datos y proyecciones a 15 semanas del pH en las pacas digestoras

Semanas	Paca #1 Húmus líquido	Paca # 2 Extracto de ortiga	Paca #3 Control
1	7,1	7	x
2	4	4,5	4
3	5	3,5	4
4	4	4	4,5
5	5	4,5	5
6	5	4	4,5
7	4,5	5	4,5
8	4,5	5	5
9	5,5	4,5	5
10	7,5	7	7,1
11	7,3	7,2	7,2
12	7,2	5	7,2
13	7,4	6,4	7,3
14	7,7	6,7	7,6
15	8	7	8

Fuente: Autoría propia

De acuerdo con la tabla 5, se determina a proyección los tiempos ideales relacionados con las variables fisicoquímicas para la obtención idónea de compost en cada paca, describiéndolo de la siguiente manera:

- **Paca #1 Humus líquido:**

El tiempo en el que se obtuvo un compost estabilizado en sus propiedades fisicoquímicas fue de 10 semanas, (70 días), este funcionara hasta la semana 13, luego de este lapso de tiempo su pH se empieza a tonar demasiado alcalino debido a que el compuesto ha llegado a su fase de maduración o porque la

temperatura ha inhibido la actividad biológica (Agreda & Deza, 2006).

- **Paca # 2 Extracto de ortiga:**

El tiempo en el que se obtuvo un compost estabilizado en sus propiedades fisicoquímicas fue de 10 semanas, (70 días), este funcionara hasta la semana 11, luego de este lapso de tiempo su pH se empieza a tonar acido en valores pH de 5 a 6, ocasionado por la reacción de los residuos orgánicos como restos de cocina, frutas, que liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio, con el acelerador biopreparado de extracto de ortiga generando un exceso de ácidos orgánicos (Manual de compostaje del agricultor, 2013).

- **Paca #3 Control:**

El tiempo en el que se obtuvo un compost estabilizado en sus propiedades fisicoquímicas fue de 9 semanas, (63 días), teniendo en cuenta que esta paca fue construida una semana después que las anteriores, este funcionara hasta la semana 12, luego de este lapso de tiempo su pH se empieza a tonar demasiado alcalino debido a que el compuesto ha llegado a su fase de maduración o porque la temperatura ha inhibido la actividad biológica (Agreda & Deza, 2006).

El tiempo mínimo considerado para la degradación de la materia orgánica fresca contenida en una paca de un metro cúbico y que su resultado pueda ser utilizado como abono es de tres meses, pero es importante acotar que el tamaño o altura de la paca, es un condicionante con el que se puede determinar si a los seis meses una paca puede ser utilizada como abono o no, ya que en ocasiones, la paca antes de los seis meses puede tener una altura menor a 30 cm y mediante la

observación directa del material se detecta que ya tiene una estructura y un color adecuado

De este modo se puede afirmar, y de acuerdo con Ardila & Cano, 2011, que la digestión de la materia orgánica en las pacas se da mediante un proceso de fermentación de sustrato sólido generando ácido acético, etanol, hidrógeno y dióxido de carbono, los dos primeros son elementos benéficos para la desinfección de la materia orgánica presente e inhiben la presencia de vectores y moscas, los segundos no generan grandes impactos al dispersarse en la atmósfera, ya que su nivel de producción no es detectable y no generan malos olores permitiendo considerar esta alternativa de reprocesos en los residuos orgánicos domiciliarios, para conjuntos cerrados, zonas verdes pequeñas o parques pertenecientes a una comunidad.

Conclusiones

El proceso de compostaje y degradación de la materia orgánica de los residuos orgánicos y residuos de jardín contenidos en las pacas biodigestoras en procesos anaerobios no estrictos se determinan por los cambios y variaciones de los parámetros físico químicos como la temperatura, humedad, pH, altura, color, olor y textura, al mismo tiempo estos factores están directamente influenciados por las condiciones climáticas y meteorológicas externas, como la frecuencia recurrente de precipitación, bajas temperaturas o heladas en algunas zonas, estas particularidades hacen que las pacas establezcan un comportamiento diferente en su desarrollo y fases de compostaje internas dependiendo de la zona en donde se ubique, pues cada una empieza a crear y mantener un micro ecosistema con características propias de acuerdo a su adaptación y disposición. De acuerdo con la experiencia en obtenida durante el desarrollo del presente proyecto se determinó:

La adición de biopreparados como aceleradores de proceso de compost, particularmente en los meses de septiembre a diciembre, teniendo en cuenta que el mes con mayor humedad relativa y el mes con el mayor número de días lluviosos del año 2021 en el municipio de Facatativá, fue noviembre no arrojó un resultado significativo, puede que la incorporación de aceleradores que no estén en estado líquido resulten con promedios más factibles, de igual manera, en cuanto a resultados de registros de datos y proyecciones se recomienda no adicionar aceleradores líquidos.

La paca con mayor factibilidad de generación de compost y estabilización en

su tiempo de proceso y uso del mismo es la paca #3 control, con un proceso total de 9 semanas (63 días), en alcanzar su fase idónea de compost. La paca control mostro un comportamiento aceptable y entre los rangos adecuados para las características fisicoquímicas obtenibles de un buen proceso de compost.

La paca con menor factibilidad de generación de compost fue la paca #2 con la adición de acelerador biopreparado de extracto de ortiga, en cuanto a la consulta bibliográfica sobre la influencia y comportamiento del extracto de ortiga como acelerador de compost, la información es muy limitada o casi nula, motivo por el cual se relacionó con lo descrito en factores benéficos de biopreparados en el manual biopreparados para el manejo de la producción

Las pacas digestoras han demostrado ser un método de fácil aplicabilidad, económico y eco sostenible con participación e interacción social que hacen a la comunidad del barrio Portal de María en Facatativá apropiarse de su espacio y preocuparse por la buena relación en el medio ambiente creando alternativas que favorecen el desarrollo de la investigación de acción participativa mejora de la calidad de vida tanto social como ambiental, dando por entendido que no solo se brinda una solución a los problemas de residuos orgánicos y de jardín, sino que también las pacas biodigestoras actúan como agregados paisajísticos o “cubos verdes” totalmente naturales que por cada 0.50m³ de paca digestora en proceso de compostaje se llega a obtener hasta un 0.30m³ de tierra y/o suelo productivo y con utilidades en futuro como la siembra se huertas urbanas en las mismas; sin preocupar ya que en su proceso de construcción funciona como un inhibidor de vectores como ratones, plagas, o malos olores; que como resultado en la

investigación e implementación de este proyecto no se generó ningún tipo de estos; convirtiéndolo en un método sano, ecológico, auto sostenible y de poca intervención al ser compactado y resistente a los factores externos

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Cívica de Facatativa. (Junio 20 de 2010). Plan de Ordenamiento Territorial POT. Facatativa. Alcaldía de Facatativa
https://notinet.com.co/verdes_impuesto.php?taxesdep=4051
- Aldana, G.. (10 de Marzo 2020). PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL “FACATATIVÁ CORRECTA, UN PROPÓSITO COMÚN 2.020 – 2.024. Facatativa.
- Alcaldía de Facatativa
https://facatativacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/facatativacundinama_rca/content/files/000666/33278_proyecto-plan-facatativa-correcta-un-proposito-comun-20202024.pdf
- Aristizabal, C & Sachica, M. (2001). Aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá DC. Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Jurídicas
<https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere2/Tesis54.pdf>
- Chilon, E., & Chilon, J. (2016). Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA). CienciAgro.
- CONPES. 2004. Políticas y Estrategias del Gobierno Nacional para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos en el marco de la prestación Servicios Públicos de Aseo. Documento. Bogotá. 6, 23-26 pg.
- Domenech, F. (2000). Obtención de un biopreparado a partir de *Metarhizium*

anisopliae por fermentación en estado sólido para su empleo como control biológico de insectos en la agricultura. Subdirección de Biotecnología, ICIDCA. Habana – Cuba

Ecohortum, 2016. HUERTO EN CASA: EL PH ÓPTIMO EN SUEL.

<https://ecohortum.com/huerto-en-casa-el-ph-optimo-en-suelo/>

En, E., & Latina, A. (s/f). MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR.

Fao.org. <://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

Jaramillo Jorge. 2003. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Efectos de la inadecuada gestión de Residuos sólidos; Universidad de Antioquía, Medellín.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P, & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 (© World Bank). <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.

Lopez, N. (2009). PROPUESTA DE UN PROGRAMA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN LA PLAZA DE MERCADO DE CERETE – CORDOBA. Marzo 09 de 2020, de UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA

<https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis64.pdf>

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000. Sección II, Título F. Bogotá, 2000

MOYA, Gustavo. Evaluación de la aplicación de microorganismos eficaces (EM)

y derivados de este, en el manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano bajo un sistema agroforestal. Costa Rica, Diciembre, 2001. Trabajo de Graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura Guácimo. Universidad Earth.

Neira, X.. (Junio de 2020). El aprovechamiento de los residuos orgánicos resolvería muchos problemas ambientales y crearía empleo. ITSAS España. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud <https://istas.net/el-aprovechamiento-de-los-residuos-organicos-resolveria-muchos-problemas-ambientales-y-crearia#:~:text=La%20presencia%20de%20basura%20org%C3%A1nica,en%20las>

[%20zonas%20habitadas%20pr%C3%B3ximas.](#)

Ormeño, M. A., & Ovalle, A. D. R. I. Á. N. (2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. INIA divulga, 10, 29-34.

Ossa, L. (2016-1). Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación Aliados con el Planeta. Universidad de Antioquia, Medellín <https://drive.google.com/file/d/0BwecnWVz7HZoXzUxOUhOel9WZTQ/view>

Palacio, A., Escobar, J., Morat, K. & Cuervo, C.. (2016). Biopreparados para el mejoramiento de la producción. Febrero de 2021, de ASOHOFrucol, Gobernación de Cundinamarca Sitio web: https://www.asohofrucol.com.co/archivos/Biopreparados_Para_El_Mejorami

ento_d e_La_Producci%C3%B3n.pdf

Portafolio. (Marzo 10 de 2015). Manejo de residuos sólidos, de la norma a la gestión. Portal web de Portafolio. Portafolio: Noticias de economía y negocios en Colombiay el mundo <https://www.portafolio>

Rivera, R & Ossa, L. (2018). Experiencia didáctica con las pacas biodigestoras en entornos educativos del estado de México. Mexico. Universidad Autónoma Chapingo <http://www.scielo.org.mx/pdf/textual/n69/2395-9177-textual-69-85.pdf>

Roben, Evan. 2002. Manual de Compostaje Para Municipios. Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. 68 p. <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>

Runiano, R. (Marzo 2010). Historia de Facatativa, Fortaleza de pierda y cruce de caminos. Facatativa. Universidad Externado de Colombia <https://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>

Verisk Maplecroft, (2019). Informe índices de generación y reciclaje de residuos. <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/us-tops-list-of-countries-fuelling-the-mounting-waste-crisis/>

Zafra, C (2009). Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistemas de caja fija (SCF) REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN, VOL. 29 No. 2, (119-126).