



**Influencia de las enmiendas e inoculación en la degradación de materia orgánica con pacas
digestoras en el proyecto de investigación giro sostenible 2.0**

María Juliana Giraldo Orozco

Informe de práctica social como requisito para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Modalidad de Práctica Social

Asesora

Juliana Katherine Tovar Ardila, Ingeniera Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería, Escuela Ambiental, Giro sostenible 2.0
Ingeniería Ambiental UdeA
Medellín, Colombia

2024

| Cita | Giraldo, 2024 |
|----------------------------|--|
| Referencia | (Giraldo Orozco, M.Juliana (2024). <i>Determinar la influencia del proceso inoculación en la degradación de materia orgánica empleando pacas digestoras, en el proyecto de investigación giro sostenible 2.0</i> |
| Estilo APA 7 (2020) | [Práctica Social]. Universidad de Antioquia, Medellín. |



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Agradezco a mis asesores Juliana Katherine Tovar Ardila Ingeniera Ambiental y Esteven Pulgarin Ingeniero Sanitario; por todo su apoyo y paciencia en mi proceso de formación como ingeniera y especialmente en el desarrollo de este trabajo. También deseo expresar mi agradecimiento al grupo de investigación Giro Sostenible 2.0 del cual encontré inspiración. Por último, quiero hacer constar mi gratitud con la Universidad de Antioquia por ser mi segundo hogar, el lugar y el espacio en donde he crecido como persona y como profesional durante estos años, el viaje ha sido maravilloso.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Resumen | 2 |
| Abstrac | 3 |
| 1. Introducción | 4 |
| 2. Objetivos | 6 |
| 2.1 Objetivo general | 6 |
| 2.2 Objetivos específicos | 6 |
| 3. Marco teórico | 7 |
| 3.1. Paca biodigestora | 7 |
| 3.2 El abono producido por las pacas biodigestoras | 10 |
| 3.3 Inóculos o aceleradores | 11 |
| 3.4 Antecedentes del uso de inóculos o aceleradores en pacas biodigestoras | 12 |
| 4. Metodología | 14 |
| 4.1 Ubicación del experimento | 14 |
| 4.2 Diseño Experimental | 16 |
| 4.3 Implementación y Monitoreo | 18 |
| 4.4 Análisis de Datos | 18 |
| 5. Resultados y análisis | 20 |
| 5.1 Cantidad de material obtenido | 20 |
| 5.2 Parámetros fisicoquímicos de degradación | 22 |
| 5.3 Caracterización de la calidad del abono obtenido | 30 |
| 5.4 Velocidad de degradación del material orgánico | 33 |
| 6. Conclusiones | 34 |
| 7. Recomendaciones | 37 |
| Referencias | 39 |
| Anexos | 41 |
| Anexo 1. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas de control | 41 |
| Anexo 2. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas inoculadas con compost | 45 |
| Anexo 3. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas inoculadas con harina de roca | 48 |
| Anexo 4. Norma Técnica Colombia 5167 de 2004 | 51 |
| Anexo 5. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras del sustrato de las pacas | 54 |
| Anexo 6. Datos meteorológicos para la ciudad de Medellín durante el periodo de monitoreo | 75 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetros para abonos orgánicos NTC 5167 | 11 |
| Tabla 2. Distribución y caracterización de cada tratamiento | 16 |
| Tabla 3. Relación de cantidad de inóculo orgánico respecto a los tipos de residuos orgánicos por paca. | 17 |
| Tabla 4. Relación de cantidad de enmienda respecto a los tipos de residuos orgánicos por paca. | 18 |
| Tabla 5. Cantidades de material obtenido después de cernir las pacas. | 21 |
| Tabla 6. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de sustrato inicial sin tratamiento y final de cada grupo con su respectivo tratamiento. | 31 |
| Tabla 7. Mediciones de parámetros fisicoquímicos de las dos pacas de control con fechas | 41 |
| Tabla 8. | 45 |
| Tabla 9. Mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las pacas con enmienda | 48 |

Lista de gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Promedio de la temperatura en los tres grupos de pacas | 23 |
| Gráfico 2. Promedios de la humedad en los tres grupos de pacas | 26 |
| Gráfico 3. Promedio del pH en los tres grupos de pacas | 27 |
| Gráfico 4. Promedios de altura en los tres grupos de pacas | 30 |
| Gráfico 5. Mediciones de temperatura en pacas de control | 42 |
| Gráfico 6. Mediciones de la humedad en pacas de control | 42 |
| Gráfico 7. Mediciones del pH en pacas de control | 43 |
| Gráfico 8. Mediciones de la altura en pacas de control | 43 |
| Gráfico 9. Mediciones de la temperatura en pacas inoculadas con compost | 46 |
| Gráfico 10. Mediciones de la humedad en pacas inoculadas con compost | 46 |
| Gráfico 11. Mediciones del pH en pacas inoculadas con compost | 47 |
| Gráfico 12. Mediciones de la altura en pacas inoculadas con compost | 47 |
| Gráfico 13. Mediciones de la temperatura en pacas inoculadas con harina de roca | 49 |
| Gráfico 14. Mediciones de la humedad en pacas inoculadas con harina de roca | 49 |
| Gráfico 15. Mediciones del pH en pacas inoculadas con harina de roca | 50 |
| Gráfico 16. Mediciones de la altura en pacas inoculadas con harina de roca | 50 |

Resumen

La inclusión de aceleradores en el proceso de obtención de abono orgánico por medio de las pacas biodigestoras buscaba determinar su incidencia en la calidad del mejorador de suelo obtenido y la velocidad de obtención de este. Para este proyecto, se implementaron tres grupos de pacas biodigestoras con dos unidades cada uno, la primera sin ningún tipo de aditivo como grupo de control, el segundo grupo con un inóculo orgánico o compost y un tercer grupo con una enmienda sintética de harina de roca. Durante el proceso de maduración se monitorearon parámetros físicoquímicos de las unidades biodigestoras como la temperatura, la humedad, el pH y la altura de las pacas. Se tomaron muestras de los abonos obtenidos en cada grupo y fueron analizados en laboratorio para caracterizar sus propiedades y compararlas con las exigidas por la normativa NTC 5167 y determinar su calidad. Los resultados evidenciaron que la inclusión de aceleradores si acorta el tiempo de maduración del sustrato respecto al proceso estándar de las pacas biodigestoras pues incentivan la actividad microbiana, sin embargo, sólo el grupo con inóculo orgánico cumplió con los parámetros de calidad necesarios mientras que el grupo con enmienda de harina de roca no.

Palabras clave: Compostaje, Pacas Biodigestoras, Aprovechamiento de Residuos Orgánicos, Abono Orgánico, Microorganismos Eficientes.

Abstrac

Including accelerators in the process of obtaining organic fertilizer through biodigester bales aimed to determine their impact on the quality of the soil improver obtained and the speed of obtaining it. For this project, three groups of biodigester bales with two units each were implemented: the first without any type of additive as the control group, the second group with an organic inoculum or compost, and a third group with a synthetic rock flour amendment. During the maturation process, physicochemical parameters of the biodigester units such as temperature, humidity, pH, and bale height were monitored. Samples of the fertilizers obtained in each group were taken and analyzed in the laboratory to characterize their properties and compare them with those required by the NTC 5167 standard to determine their quality. The results showed that the inclusion of accelerators does shorten the maturation time of the substrate compared to the standard process of biodigester bales as they stimulate microbial activity. However, only the group with organic inoculum met the necessary quality parameters, while the group with rock flour amendment did not.

Keywords: Composting, Biodigester Bales, Organic Waste Management, Organic Fertilizer, Efficient Microorganisms.

Introducción

La necesidad de un mejor aprovechamiento de los residuos orgánicos es uno de los factores que contribuye al aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios. De acuerdo con Corantioquia (2023) 25 de los 37 rellenos sanitarios con licencia ambiental, que prestan sus servicios a más de 5 millones de personas, cumplen su vida útil el 2028. Cada año se vierten 1.524.865 toneladas de residuos en estos rellenos sanitarios y sólo el 16.5% son reciclados. Aunque se han dado pasos para la gestión integral de los residuos, como la implementación de prácticas de economía circular o el compostaje; es necesario proponer e implementar soluciones innovadoras y eficaces, para disminuir la presión sobre los rellenos sanitarios y lograr mitigar los impactos sobre el medio ambiente, la salud pública y así contribuir a impulsar el bienestar social de manera multidimensional. La gestión efectiva de los residuos orgánicos, entendida como aquella que permite su aprovechamiento como abono, es imperativa, especialmente en entornos urbanos, donde su acumulación plantea desafíos significativos en términos sociales, ambientales y de salud pública. Ossa (2016) señala la importancia crítica de abordar la problemática de los residuos orgánicos y destacando la necesidad de estrategias innovadoras y sostenibles para su gestión.

La falta de técnicas eficientes en la gestión de los residuos orgánicos contribuye a la cantidad de material vertido en los rellenos sanitarios que tienden a reducir su vida útil en términos de capacidad, al tiempo que se desaprovecha material que puede ayudar en áreas productivas como el agro. Este problema adquiere una relevancia crucial en el contexto de la Universidad de Antioquia por ser un espacio físico con un área importante en el corazón de la ciudad de Medellín, congrega a más de 50 mil personas diariamente, convirtiéndolo en un lugar propicio para conocer cómo pueden darse unas dinámicas en la generación, gestión, optimización y maximización del aprovechamiento de los residuos orgánicos y así tener un precedente del alcance de cualquier propuesta que vaya en este sentido. Además, la posibilidad de articulación entre distintas metodologías y proyectos de investigación que puedan retroalimentarse para finalmente encontrar soluciones específicas del campus universitario, como generales para espacios externos. En consecuencia, surge el proyecto Giro Sostenible 2.0, con el objetivo general de mejorar el proceso de descomposición de la materia orgánica por medio del uso de

pacas biodigestoras como una alternativa prometedora para transformar estos residuos en enmiendas para el suelo.

El propósito de este proyecto es determinar el impacto en el tiempo de maduración del abono orgánico obtenido a partir del uso de pacas biodigestoras agregando aceleradores de origen orgánico y de origen sintético. El proceso fue desarrollado en seis unidades biodigestoras, separadas en tres grupos, cada uno con dos pacas. El primero, llamado grupo de control utilizó la técnica original de las pacas biodigestoras, sin ningún tipo de acelerador. El segundo grupo, fue inoculado con compost, mientras que a el último grupo se le adicionó harina de roca. Durante el proceso de monitoreo, se llevaron a cabo mediciones de parámetros fisicoquímicos y al finalizar la maduración del sustrato se analizó por medio de pruebas de laboratorio el abono obtenido, caracterizando sus propiedades.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar la influencia que tiene el proceso de inoculación en la velocidad de degradación de materia orgánica empleando pacas digestoras y la calidad del abono resultante.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar la influencia que tiene la inoculación sobre los parámetros que describen la degradación de la materia orgánica.
- Medir el efecto que tiene el proceso de inoculación sobre el tiempo de maduración del abono en la paca biodigestora.
- Caracterizar el abono resultante del proceso de inoculación en el empleo de placas biodigestoras.

3. Marco teórico

Los residuos orgánicos plantean un desafío sustancial, ya que en la mayoría de los casos siguen un ciclo que culmina en vertederos urbanos, donde se descomponen junto con una diversidad de otros residuos sólidos, entre los cuales también se encuentra una serie de metales pesados y compuestos tóxicos, que pueden tener un impacto perjudicial en la vida de otros organismos y en la salud general del suelo (Galviz Gonzalez, 2016). Una de las estrategias para aprovechar los residuos orgánicos es el compostaje. Es por ello que las pacas digestoras se proyectan de gran utilidad en comunidades, instituciones, granjas y, en general, espacios donde se generan cantidades significativas de residuos orgánicos y se busca una solución ambientalmente amigable y sostenible para su manejo.

3.1. Paca biodigestora

La paca biodigestora es una innovación tecnológica creada y diseñada por el tecnólogo forestal Guillermo Silva Pérez (Silva, 2018). Su propósito es transformar los desechos orgánicos en un material que sirva de abono por medio de un proceso anaeróbico de microorganismos que fermentan los residuos. Las pacas son unas estructuras huecas en forma de cubo o canasto, usualmente de tamaño de 1 m³ de madera que se rellena con material orgánico compactado hasta de media tonelada. Este proceso permite disminuir la generación de lixiviados y malos olores, además de optimizar el espacio requerido para montar las unidades biodigestoras. El material orgánico se dispone de tal manera, que los residuos alimenticios queden en la parte central o interna, rodeados de hojarasca con el objetivo de minimizar el contacto de los primeros residuos que son de más fácil biodegradación con el oxígeno y de esta manera evitar el proceso de putrefacción como consecuencia, evita la generación de malos olores, atraer roedores, insectos o vectores que puedan producir molestia y enfermedades entre otros.

Al momento del montaje de la paca biodigestora se deben tener en cuenta las relaciones adecuadas en la cantidad de materiales orgánicos utilizados para maximizar la obtención del abono final. Se recomienda una relación 35N:25C, es decir 35 partes de nitrógeno por 25 de carbono esto permite que la actividad microbiana pueda llevarse en óptimas condiciones (Bueno Márquez, Díaz Blanco, & Cabrera, 2008). De esta manera se garantiza un mejor resultado en el proceso de degradación. Se busca que el proceso sea cuasi anaerobio, es decir con la menor

cantidad de oxígeno posible y mediado por bacterias específicas, como las hidrolíticas, metanogénicas y acetogénicas. Este proceso bioquímico va degradando la materia por acción de las bacterias, y se generan subproductos como metano y digestato (compuesto de minerales tales como fósforo, potasio, calcio, entre otros). Esto es, transformar las moléculas complejas en moléculas más simples, el material orgánico se convierte en inorgánico según Ossa-Carrasquilla, Correa-Ochoa, & Múnera-Porras (2020), esto significa que las pacas biodigestoras se consideran un proceso de fermentación de sustrato en estado sólido.

La fermentación de sustrato en estado sólido es el proceso metabólico proceso que se desarrolla con bajas concentraciones de oxígeno, algunos microorganismos aprovechan el material orgánico sólido, insoluble en agua, pero con cierto grado de humedad como fuente de energía y que genera subproductos tales como azúcares en ácidos, gases o alcoholes (Pastrana, 1996). Dentro de las pacas, los carbohidratos los aportan los materiales orgánicos de origen vegetal, que, al degradarse, producen ácido acético y etanol, componentes antisépticos para la materia orgánica que mantienen alejados agentes externos como vectores, entre otros. Además, se producen niveles relativamente bajos de dióxido de carbono e hidrógeno que se escapan hacia la atmósfera para finalmente obtener un abono maduro y listo para ser utilizado (Stanier, Ingraham, Wheelis, & Page, 1992).

Tiempo

Hace referencia al periodo que va desde el armado de la paca biodigestora con el material de residuo orgánico que se quiere transformar hasta el momento en que se desarma la unidad y se obtiene el abono ya madurado, listo para ser utilizado como mejorador del suelo. Ahora bien, la velocidad del proceso de maduración del material orgánico en las pacas biodigestoras depende de su composición, las características de los microorganismos que intervienen, la cantidad de oxígeno disponible y las condiciones ambientales a las que se exponga la unidad digestora. La velocidad de maduración del sustrato se medirá a través de los parámetros establecidos en el comportamiento del proceso biodigestor: temperatura, humedad, pH y altura de la paca (Ossa-Carrasquilla, Correa-Ochoa, & Múnera-Porras, 2020). Estas fueron las variables de interés para este proyecto y con las cuáles se hicieron los análisis posteriores al finalizar la fase de experimentación y recopilación de datos.

Temperatura

La temperatura es un indicador del grado de actividad microbiana en la paca biodigestora. Permite caracterizar la naturaleza de dicha actividad y cómo se está comportando el sustrato que está siendo procesado. A lo largo del proceso, la temperatura tiene un comportamiento equivalente al que se presenta en los sistemas aeróbicos. Primero, el material orgánico es isotérmico con la temperatura ambiental inferior a los 25°C, en este punto actúan microorganismo psicrófilos. Después, se presenta un incremento a medida que la actividad bacteriana empieza a actuar sobre el sustrato orgánico, llegando a superar los 45°C, propicio para la intervención de los termófilos. Este aumento de la temperatura es suficiente para inhibir la actividad de agentes patógenos que puedan deteriorar el material.

Cuando todo el sustrato orgánico ha sido transformado, inicia la última etapa, en la que la temperatura empieza a descender nuevamente y permite a los mesófilos iniciar su intervención de degradación de la celulosa y la lignina remanentes de las etapas anteriores, para este momento la temperatura está entre 25°C y 45°C aproximadamente. Finalmente, cuando el proceso esté estable, el producto final es una abono maduro y listo para su uso (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, 2010). Se puede entonces deducir que existen al menos tres tipos de microorganismos que intervienen en la maduración con igual número de rangos de temperatura óptima (Ossa-Carrasquilla, Correa-Ochoa, & Múnera-Porras, 2020).

Humedad

La humedad es uno de los parámetros más importantes que se deben medir con la mayor precisión posible y en la medida de lo admisible, se debe controlar durante el proceso de maduración de la paca biodigestora. Es necesario conocer las características del material orgánico de base, pues de acuerdo con sus características la humedad tendrá unos efectos más o menos favorables. Así mismo, en la humedad también inciden las condiciones ambientales locales, donde se ubiquen las pacas durante el proceso de maduración. Con una humedad inferior al 30% se puede presentar una disminución en la actividad metabólica de los microorganismos presentes al interior de la paca, como consecuencia, se ralentiza o detiene totalmente la degradación de la materia orgánica. Por el contrario, si la humedad se encuentra por encima del 80% entonces se puede ver afectada la porosidad lo que daría paso a un aumento de la concentración del oxígeno dentro de la unidad digestora y a su vez permitiendo la proliferación de una actividad bacteriana

que descomponga la materia, generando olores desagradables que harían inviable el proceso (Ossa-Carrasquilla, Correa-Ochoa, & Múnera-Porras, 2020).

Potencial de Hidrógeno (pH)

El tercer parámetro para considerar es el pH, este da pistas de las características de los productos que se están desarrollando durante el proceso de degradación orgánico que se va dando en el interior de la paca en cada etapa del proceso. En principio al producirse los ácidos, el valor del pH desciende. Posteriormente, el valor del pH debe empezar a aumentar hasta llegar a un valor cercano a 8, lo cual indica que el proceso de maduración se ha alcanzado satisfactoriamente. Esto último puede explicarse por el aumento de la temperatura dentro de la unidad digestora, lo cual, disminuye o inhibe totalmente la actividad metabólica de microorganismos que pueden fermentar el material orgánico (Ossa Carrasquilla, 2016).

Altura

Este parámetro es un indicativo del avance del proceso de degradación del material orgánico. A medida que avanza tal degradación, la altura de la unidad debe disminuir, pues, la masa del material cambia (Ocampo & Cabrales, 2023). También, se puede considerar la ratio en la disminución de la altura en función del tiempo requerido para ciertos materiales. El volumen de la paca empieza a disminuir a medida que se van dando los cambios químicos y físicos al interior de la unidad.

3.2 El abono producido por las pacas biodigestoras

Tal como se ha mencionado, la razón de ser de las pacas biodigestoras es la producción de abono a partir de residuos orgánicos. Este producto para ser considerado de buena calidad debe tener unas características objetivas que puedan ser cuantificadas con el fin de evaluar su idoneidad para uno u otro uso final. Los parámetros para medir van en función de la cantidad porcentual de nutrientes que puedan enriquecer de manera óptima el suelo en el que vayan a ser usados para los fines definidos. En consecuencia, se considera que un abono orgánico de buena calidad tiene al menos un 1% más de nutrientes como calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio y zinc en relación con carbono y nitrógeno, además de un alto porcentaje de cenizas (Ocampo & Cabrales, 2023). Cabe destacar que esto debe realizarse por medio de pruebas fisicoquímicas en laboratorio.

Ahora bien, al remitirnos a la norma técnica colombiana (NTC) 5167 del 2004 (ver tabla 1 y anexo 4) encontramos los siguientes valores de referencia:

Tabla 1.

Parámetros para abonos orgánicos NTC 5167

| Parámetro | Valor de referencia |
|--|---|
| Contenido de cenizas | Max 60% |
| Contenido de humedad | Max 35% |
| Contenido de carbono orgánico oxidable total | Min 15% |
| Capacidad de intercambio catiónico | Min 30 cmil(+)kg ⁻¹ (meq/100g) |
| Capacidad de retención de humedad | Min peso propio |
| pH | 4 – 9 |
| Densidad | Max 0.6 g/cm ³ |

Adicionalmente, se deben declarar los contenidos totales de N, P₂O₅ y K₂O si cada uno es mayor a 1%. Además, los límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación: As (41), Cd (39), Cr (1200), Hg (17), Ni (420) y Pb (300). Finalmente, la norma citada, también establece que es necesario llevar a cabo pruebas microbiológicas que permitan descartar la presencia de ciertos agentes fitopatógenos en el abono tales como: *Fusarium spp.*, *Botrytis sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Phytophthora sp* (ICONTEC, 2004).

3.3 Inóculos o aceleradores

Los inóculos son sustancias aceleradoras del proceso metabólico de transformación de la materia orgánica, actúan como fuentes de energía para el desarrollo de las actividades metabólicas de los microorganismos, el resultado esperado es reducir el tiempo de degradación de los residuos orgánicos. Los inoculadores de origen natural son un tipo de sustancias que contienen una gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos y/o levaduras que son beneficiosos para el proceso de degradación de los residuos orgánicos en las pacas biodigestoras.

Los inoculadores de origen sintético son sustancias que contienen una alta concentración de minerales en altas concentraciones que permiten la activación de los agentes microbianos que intervienen en la degradación en las unidades de pacas digestoras.

Para determinar la incidencia de inoculadores o aceleradores en la obtención de los abonos por medio de las unidades digestoras. Se deben aplicar en las etapas tempranas del proceso de degradación. Existen dos tipos de inoculadores, los de origen natural y los de origen sintético.

3.4 Antecedentes del uso de inóculos o aceleradores en pacas biodigestoras

En el desarrollo conceptual de este proyecto, se hizo una revisión de antecedentes del uso de pacas biodigestoras aplicando inóculos con el objetivo de reconocer qué tipo de experiencias y aportes pudieran enriquecer el posterior diseño experimental y el análisis de resultados. El uso de pacas biodigestoras ha tenido una buena recepción en el ámbito académico como método de obtención de abono orgánico. Sin embargo, al hacer una revisión bibliográfica se encontraron pocos antecedentes documentados del uso de aceleradores en el proceso de las pacas biodigestoras.

El primer trabajo al que se hace referencia fue el presentado en 2023 por Julieth Ocampo Piedrahita y Wilmer Cabrales, titulado “Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en el municipio de Carepa- Antioquia”. Este se presentó como tesis de grado para optar por el título de ingenieros bioquímicos de la Universidad de Antioquia. Este trabajo que tuvo un excelente desarrollo y ejecución por parte de sus autores se destaca por su propuesta de aplicar inóculos microbianos a algunas de las 8 pacas utilizadas durante su ejecución. El trabajo se centró en definir un proceso de gestión de residuos orgánicos aplicable para las necesidades del municipio de Carepa. Este proyecto tiene un importante aporte de información sobre el comportamiento de las pacas biodigestoras en un clima de alta humedad y temperatura propias de la zona de Urabá. Además, hace un valioso recorrido bibliográfico que nutre su proyecto.

El segundo proyecto que se tomó como referente fue el realizado por Valeria Antury Abello en 2022, titulado “Evaluación de aceleradores para el tratamiento de residuos orgánicos del barrio Portal de María en Facatativá, Cundinamarca, a través de pacas digestoras” y que fue

desarrollado para obtener el título de ingeniera ambiental por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). En este trabajo, la autora desarrolló una propuesta de investigación que consolida la gestión de los residuos orgánicos para una comunidad compuesta por unas 26 familias en el municipio de Facatativa en Cundinamarca por medio del uso de pacas biodigestoras. El proyecto tuvo en cuenta, la cantidad de residuos orgánicos que se producen en lugar, además, experimentó con dos tipos de inóculos orgánicos diferentes con el objetivo de conocer cómo se comporta el proceso de maduración cuando se aplica un acelerador en las unidades biodigestoras. Los resultados fueron prometedores, pues con la técnica aplicada logró procesar un cuarto de tonelada de residuos orgánicos con sólo tres pacas. Como aceleradores, utilizó humus por un lado y compost por el otro. Los aportes son valiosos dado que muestran la capacidad de los aceleradores como una mejora para la eficiencia del proceso de producción de abono de calidad en menos tiempo.

El tercer trabajo que se tomó como referencia, fue el realizado en 2016 por Laura Ossa y que se tituló “Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia”. Este proyecto de grado se ha considerado como un eje fundamental de la aplicación de las pacas biodigestoras en la gestión de los residuos orgánicos dentro de la Universidad de Antioquia. Este proyecto, aunque no aplica técnicas de inoculación, sino que sigue el método tradicional de la paca, plasma de manera clara, amplia y pedagógica la forma en que las pacas biodigestoras son capaces de generar de manera sostenible abono de calidad para uso agrícola y que está al alcance de la comunidad universitaria y, por ende, para la sociedad en general.

4. Metodología

4.1 Ubicación del experimento

El desarrollo experimental de este proyecto se llevó a cabo en el campus principal de la Universidad de Antioquia, en la ciudad de Medellín, en el departamento de Antioquia, Colombia. La ciudadela universitaria, se encuentra ubicada al costado oriental del río Aburrá, el cual cruza la ciudad de sur a norte, por el centro del Valle de Aburrá. La universidad está dentro del centro urbano de Medellín. Dentro de sus límites posee una gran diversidad de zonas verdes, y gran cantidad de árboles que enriquecen su ecosistema. Además, se encuentra cerca de lugares clave, como el Cerro el Volador al costado oriental del río Aburrá, el campus de la Universidad Nacional de Colombia que también posee una gran área de zonas boscosas, el Parque Norte que se ubica al norte del campus de la UdeA y al noroccidente el Jardín Botánico de la ciudad de Medellín. Todos estos sitios crean un espacio un gran pulmón verde para la urbe paisa. La ciudad universitaria de la UdeA posee un área total de 237.498 m², de las cuáles, unos 80.904 m² son zonas verdes, que están compuestas por jardines y áreas arborizadas. Para este proyecto, se ubicaron las pacas biodigestoras al costado noroccidental del campus universitario.

Figura 1.

Panorámica del campus de la Universidad de Antioquia.



Nota. Fuente <https://tinyurl.com/27le6kkw>

La ciudad de Medellín es una ciudad con clima templado y húmedo con una temperatura que varía entre los 12°C y los 30°C, con registros de temperaturas de hasta 33,2°C. La temperatura media anual está en los 21.5°C aproximadamente. Se tiene una media de 1656 mm de precipitación anual, aunque la distribución de estas lluvias no es uniforme dado que la zona sur de la ciudad es más lluviosa que la norte. La humedad es muy variable a lo largo del año, sin embargo, su media oscila entre el 63% y el 73% siendo el segundo semestre del año, la época más lluviosa según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2005). De acuerdo con lo anterior, estas fueron las condiciones de intemperie a las que estuvieron expuestas las pacas biodigestoras durante el proceso de maduración del material orgánico. El desarrollo de la fase experimental abarcó los meses de noviembre de 2023 hasta febrero de 2024.

Figura SEQ Ilustración * ARABIC 2.
Mapa del campus de la Universidad de Antioquia



Nota. Fuente <https://tinyurl.com/2c4mkopd>

4.2 Diseño Experimental

Se diseñó un experimento en el que se utilizaron seis pacas digestoras como unidades de estudio independientes. Se tuvieron tres tratamientos con dos réplicas cada uno. El primer tratamiento consideraba el uso de compostaje, como inoculante natural. El segundo tratamiento consideraba el uso de una enmienda de harina de roca, como inoculante sintético. En el tratamiento de control no utilizó ningún tipo de inóculo o acelerador, es decir, se usó el método convencional de las pacas biodigestoras.

Para la recopilación de datos, se utilizaron instrumentos de medida tales como sensores de temperatura, de humedad, de pH, altura y análisis fisicoquímicos para evaluar la calidad final del abono de los residuos orgánicos adecuados recolectados en el campus Ciudad Universitaria Universidad de Antioquia, los cuales fueron borra de café recolectado de las cafeterías que hay dentro del campus, además de las cáscaras, residuos de frutas y verduras, hojarasca y residuo de poda.

Tabla 2.
Distribución y caracterización de cada tratamiento

| Nº Paca | Tratamiento | Paca Biodigestora | Características |
|---------|--------------------------|-------------------|--|
| 1 | Inóculo: Compost | Unidad 1 | Paca biodigestora con residuos orgánicos compuestos de residuos de frutas, verduras, borra de café, hojarasca y residuos de poda. Además de la adición del inóculo orgánico. |
| 2 | | Unidad 2 | |
| 3 | Enmienda: Harina de roca | Unidad 3 | Paca biodigestora con residuos orgánicos compuestos de residuos de frutas, verduras, borra de café, hojarasca y residuos de poda. Además de la adición de la enmienda. |
| 4 | | Unidad 4 | |
| 5 | Sin tratamiento | Unidad 5 | Paca biodigestora con residuos orgánicos compuestos de residuos de frutas, verduras, borra de café, hojarasca y residuos de poda. Estas pacas se utilizaron como unidades de control usando el proceso normal. |
| 6 | | Unidad 6 | |

Las relaciones de proporción entre los residuos orgánicos y los inóculos utilizados se muestran en las tablas 2 y 3 respectivamente. Es importante señalar que se buscó que con la inclusión de dos aceleradores de distinta naturaleza se pudiera comparar la capacidad de acelerar

el proceso de producción del abono orgánico requerido, así como de sus características fisicoquímicas que determinan su calidad y potencial uso.

Tabla 3.

Relación de cantidad de inóculo orgánico respecto a los tipos de residuos orgánicos por paca.

| Componente | Cantidad por paca (Kg) | Proporción | Porcentaje |
|----------------------------|------------------------|------------|---------------|
| Inóculo orgánico (Compost) | 5 | 1 | 9.8% |
| Residuos orgánicos | 8 | 1.6 | 15.7% |
| Borra de café | 8 | 1.6 | 15.7% |
| Hojarasca | 30 | 6 | 58.8% |
| Total | 51 | | 100.0% |

El inóculo natural utilizado fue producido dentro de la Universidad de Antioquia por medio de un método tradicional de compostaje. Sus propiedades como mejorador natural de suelos, se consideraron ideales para acelerar el proceso de biodigestión dentro de las pacas dado que sirve como fuente de energía para los microorganismos que transforman los residuos orgánicos en mejoradores de suelo.

La enmienda utilizada fue la harina de roca con una cantidad total de borra de café utilizada de 48 Kg, la misma cantidad de residuos de frutas y verduras, mientras que de hojarasca y poda fue de 180 Kg para un total de 276 Kg de material orgánico para ser degradado por medio de las 6 unidades biodigestoras. Para el montaje se llevó a cabo el siguiente proceso para la preparación de las unidades:

El procedimiento para armarlas pacas consistió en: Primero se tomó el inóculo respectivo y se mezcló con los residuos de frutas y verduras hasta tener una mezcla del material lo suficientemente homogeneizada. Después se tomó este primer material y se mezcló en una relación 1 a 1 con la cantidad de borra de café disponible para la unidad. Finalmente, esta última mezcla obtenida, se le incorpora el material forestal disponible en una relación 1 a 1 nuevamente. Todo este material obtenido se compacta y sella dentro de la paca para obtener así la unidad que se trabajará.

Tabla 4.

Relación de cantidad de enmienda respecto a los tipos de residuos orgánicos por paca.

| Componente | Cantidad por paca (Kg) | Proporción | Porcentaje |
|---------------------------|------------------------|------------|------------|
| Enmienda (Harina de roca) | 5 | 1 | 9.8% |
| Residuos orgánicos | 8 | 1.6 | 15.7% |
| Borra de café | 8 | 1.6 | 15.7% |
| Hojarasca | 30 | 6 | 58.8% |
| Total | 51 | | 100.0% |

4.3 Implementación y Monitoreo

En esta etapa, se implementó el experimento en condiciones reales de intemperie. Durante la primera semana, se realizó un monitoreo diario de cada paca biodigestora. Posteriormente, el monitoreo se efectuó cada dos días, completando un total de 87 días de seguimiento. Se realizaron 32 mediciones in situ de cada variable para cada unidad biodigestora. El estado de maduración del abono se evaluó mediante análisis fisicoquímicos de laboratorio, al finalizar la fase de monitoreo, posterior al desmonte de las pacas biodigestoras. Para ello, se tomaron muestras del material de las pacas. La medición de los parámetros se llevó a cabo durante los meses de noviembre de 2023 hasta febrero de 2024.

4.4 Análisis de Datos

La información obtenida se tabuló con el objetivo de hacer un análisis de ella y así determinar cuál fue la incidencia real de los inóculos en el tiempo de maduración en sus respectivos sustratos respecto a las dos unidades de control que se tomaron como referencia bajo las mismas condiciones de experimentación.

Parámetros de degradación de material orgánico

Se hicieron mediciones de los parámetros fisicoquímicos que intervienen en la degradación del material orgánico: temperatura, humedad, el pH y altura. La variable independiente que se tomará es el tiempo, el cual se tendrá en cuenta ubicar el momento en el que los grupos alcancen los valores teóricos para cada parámetro que indican la maduración del sustrato de las pacas biodigestoras. Los datos recopilados fueron objeto de análisis para

identificar las distintas fases del proceso de degradación y de esta manera contrastar la información obtenida en campo respecto a los valores teóricos señalados en el marco teórico y que expone la literatura.

Cantidad de abono obtenido

Una vez terminada la fase de experimentación y monitoreo durante 87 días, se llevó a cabo el desmonte de las pacas biodigestoras. De cada una se hizo un proceso de tamizaje para separar el abono y el material grueso restante. Posteriormente, se pesaron las cantidades obtenidas de cada uno y de esta manera conocer el porcentaje de material resultante respecto al peso inicial con el objetivo de calcular la eficiencia en términos de masa del material obtenido para cada tratamiento respecto al grupo de control.

Caracterización de abono

Una vez hecho el desmonte de cada una de las unidades se tomaron muestras de cada grupo y se enviaron al laboratorio para hacer los respectivos análisis fisicoquímicos según norma NTC 5167 de 2004 en la que se consideran los parámetros correspondientes para abonos orgánicos: humedad de la muestra, contenido de cenizas, densidad real, pH, capacidad de retención de humedad (CRA), contenido de carbono orgánico oxidable (CO). Sobre estos parámetros se aplicó un análisis para las muestras y su respectiva comparación.

La velocidad de degradación del material orgánico

La velocidad de degradación del material orgánico se determinará por el tiempo que tarde cada grupo en alcanzar los valores teóricos para cada uno de los parámetros fisicoquímicos que serán monitoreados durante el desarrollo del experimento. Esto es, cuando los valores de la temperatura después de ascender por encima de 45°C que es la etapa termófila, vuelven a bajar y estabilizarse entre 25°C y 45°C cuando ya entra en la fase mesófila de la actividad microbiana interna de las pacas. Para la humedad, cuando los grupos alcancen una estabilidad entre el 30% y el 80%, mientras que para el pH se evaluará el momento en que las unidades biodigestoras alcancen valores estables cercanos a 8 y finalmente cuando las alturas de las pacas sean aproximadamente la mitad del valor inicial. Al comparar estos datos, se podrá estimar cuál de los tratamientos fue más rápido respecto al grupo de control de alcanzar la madurez teórica del sustrato.

5. Resultados y análisis

Durante el periodo de seguimiento que abarcó desde el 22 de noviembre hasta el 16 de febrero de 2024 se tuvieron unas condiciones ambientales de humedad superiores al 80% e incluso llegando al 100%, además se presentaron cambios de temperatura desde 15°C hasta 25°C. También hubo alta nubosidad con abundante precipitación, la cual condicionó el comportamiento de las unidades en momentos puntuales (ver anexo 6). Al comparar los datos arrojados por los instrumentos de medida de cada parámetro y los datos meteorológicos se evidencian algunas condiciones ambientales que pudieron incidir en las medidas de las unidades biodigestoras que se usaron para el desarrollo experimental de este proyecto.

5.1 Cantidad de material obtenido

En términos de cantidades y porcentajes de material de abono obtenido como resultado del proceso de maduración por medio de las pacas biodigestoras, el menor rendimiento fue para las unidades inoculadas con compost (ver tabla 5). De acuerdo con lo anterior, el compost en principio pareciera no mejorar la eficiencia respecto al mejorador de suelo que se obtiene al compararlo con el proceso de maduración tradicional de las pacas biodigestoras, pero al considerar la cantidad de material grueso tamizado, vemos que es menor que el grupo de control (ver tabla 5), lo cual indica que es posible que se aproveche mejor los residuos orgánicos. Los resultados anteriores tienen en cuenta que las cantidades de material inicial de las unidades tratadas era superior al de las dos unidades no tratadas, puesto que las primeras contenían 5 Kg de enmienda o compost, es decir, 51 Kg para las tratadas y 46 Kg para las no tratadas (ver tablas 2 y 3).

Si se tiene en cuenta que la cantidad de material de residuo orgánico que se usó en cada una de las seis pacas fue de 46 Kg, entonces se evidencia que la eficiencia relativa en las pacas con enmienda tuvo un mejor rendimiento respecto al porcentaje de abono obtenido sobre los otros dos grupos de unidades, con un 26.1% (ver tabla 5). Este resultado es acorde con las mediciones de los parámetros medidos durante la fase de maduración, los cuáles muestran una mayor estabilidad en el proceso de biodigestión para este grupo de pacas con la enmienda.

Tabla 5.*Cantidades de material obtenido después de cernir las pacas.*

| Unidad Biodigestora | Tipo | Abono obtenido (Kg) | Porcentaje de abono | Material grueso (Kg) | Porcentaje de material grueso | Eficiencia residuo inicial/abono obtenido | Eficiencia relativa (residuo inicial sin acelerador) /abono obtenido |
|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|---|--|
| 1 | Enmienda: Harina de Roca | 12 | 19,7% | 4 | 13,3% | 23,5% | 26,1% |
| 2 | Enmienda: Harina de Roca | 12 | 19,7% | 4 | 13,3% | 23,5% | 26,1% |
| 3 | Inóculo: Compost | 8 | 13,1% | 5 | 16,7% | 15,7% | 17,4% |
| 4 | Inóculo: Compost | 10 | 16,4% | 5 | 16,7% | 19,6% | 21,7% |
| 5 | Sin inóculo | 8 | 13,1% | 6 | 20,0% | 17,4% | 17,4% |
| 6 | Sin inóculo | 11 | 18,0% | 6 | 20,0% | 23,9% | 23,9% |
| Total | | 61 | | 30 | | | |

Los resultados en la eficiencia relativa medidos para el grupo de control, es decir, la cantidad de abono obtenido, son consistentes con los que se produjeron en otras experiencias que se consideraron para desarrollar este proyecto p.e. según Silva, las pacas biodigestoras son capaces de generar 150 Kg de abono a partir de 500 Kg de residuos orgánicos, esto es, tienen una eficiencia del 30% aproximadamente, citado por Zapata (2024). Si se considera que, para este proyecto, solamente se utilizó la mitad del tiempo que propone el creador de las pacas y unidades con 10 veces menos de material para degradar se obtiene un mejor rendimiento relativo en ambas unidades de control.

El grupo inoculado tuvo los rendimientos más bajos al observar la cantidad de abono obtenido en las pacas respecto al grupo de control y las unidades con enmienda. El compost no tiene efecto respecto a la cantidad de producción bruta del sustrato madurado respecto al grupo de control dado que el comportamiento de ambas pacas es homogéneo entre sí, logrando valores bastante similares (ver tabla 5). Por otro lado, al compararlo con el grupo con la harina de roca la eficiencia está muy por debajo, sin dejar de ser una variante del proceso con resultados interesantes y positivos.

5.2 Parámetros fisicoquímicos de degradación

Cada uno de los parámetros fisicoquímicos elegidos para la medición y desarrollo analítico del presente proyecto se muestran a continuación:

Variación de la temperatura

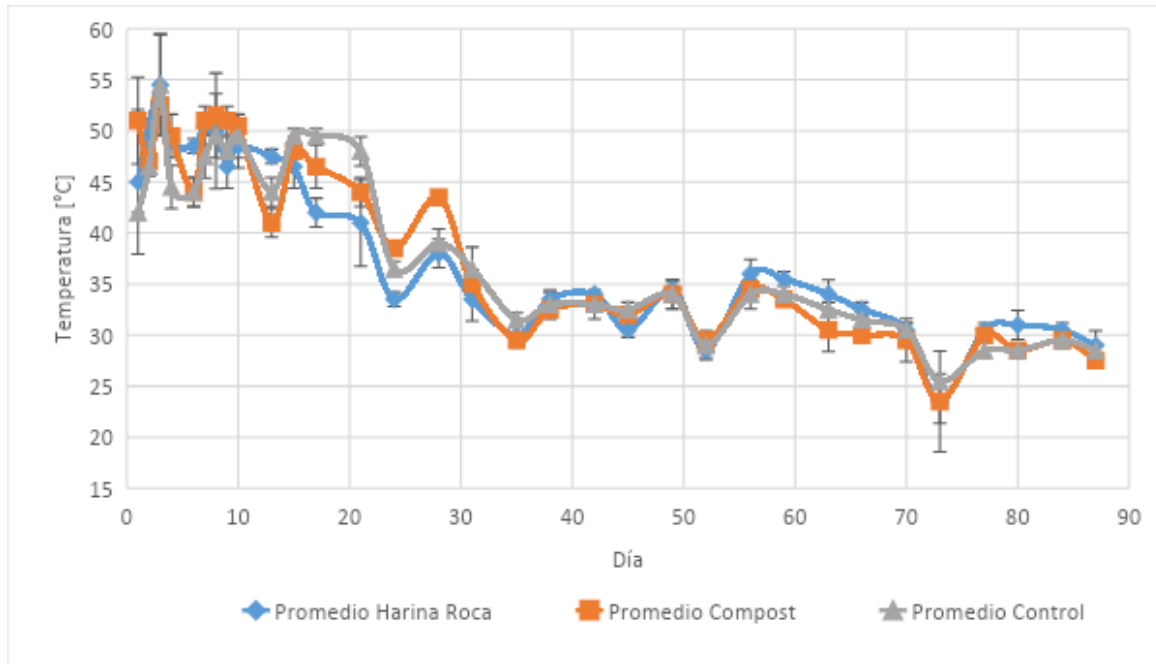
El comportamiento inicial en cada tratamiento de acuerdo con su composición e inoculación presenta las mayores variaciones de temperatura durante los primeros 35 días. Posterior a esta primera etapa las variaciones de temperatura al interior de los tres grupos de pacas se empiezan a comportar similarmente (gráfico 1). Los valores de esta tabla se tomaron con los promedios de las temperaturas de cada grupo desde la tabla 1 en la cual también se pueden apreciar los valores individuales de cada paca respectivamente.

Considerando que las condiciones ambientales pueden incidir en el proceso de maduración del abono dentro de las pacas dada su exposición al medio según Ossa (2020), las mediciones iniciales de la temperatura arrojaron que una de las pacas con enmienda presentaba la temperatura más baja respecto de la otras, mientras que la temperatura promedio más baja correspondía a las pacas sin inocular (las unidades de control) posiblemente porque la acción microbiana tardó más en iniciar. Por otro lado, las pacas inoculadas con compost poseían el promedio de temperatura más alto, es posible que su característico origen orgánico permitía una actividad biológica dentro de la paca más intensa que en los otros dos grupos.

Las pacas digestoras de control poseían temperatura igual en ambas unidades, es decir, con un comportamiento más uniforme que en los otros dos grupos en donde existían variaciones entre 4°C y 10°C entre sus réplicas, no obstante, el promedio del grupo estaba por debajo de 45°C lo que pudo ser un indicador de que la actividad microbiana termófila aún no había sido alcanzada. En esta etapa inicial las unidades debido a la compactación y la acción microbiana iniciaban su proceso.

Gráfico 1.

Promedio de la temperatura en los tres grupos de pacas



Durante los primeros diez días de mediciones se mantuvieron las temperaturas por encima de 45°C en los tres grupos, acorde a la literatura. Lo anterior, debido al inicio de la actividad microbiana para degradar el material de residuo orgánico que tenía los nutrientes necesarios para que el proceso empezara y se mantuviera con la energía suficiente. La actividad de los termófilos dio paso a la degradación molecular al tiempo que impedía que los patógenos pudieran descomponer el material orgánico dentro de la paca. Sin embargo, en la etapa de actividad termófila necesaria para el desarrollo de la maduración del sustrato, los grupos de control e inoculado con compost orgánico estuvieron hasta dos veces por debajo de dicha temperatura, debido a, posiblemente, las condiciones de alta humedad y baja temperatura que se presentaron en el ambiente, que pudieron incidir en su comportamiento (Ossa-Carrasquilla, Correa-Ochoa, & Múnera-Porras, 2020). Las unidades lograron nuevamente aumentar su temperatura interna por encima del valor señalado. Solo el grupo de la harina de roca logró mantenerse por encima del valor de temperatura mínimo para la fase termófila. Este hecho, es relevante, pues evidencia que en este tratamiento se sostuvo mejor las condiciones internas térmicas respecto a los otros tratamientos.

La etapa mesófila vio marcado su inicio con respecto al tiempo en que los tres grupos lograron alcanzarla en diferentes momentos respectivamente. Las pacas con enmienda lograron alcanzar primero este ciclo alrededor de 15 días después de haber iniciado el proceso de medición cuando la temperatura estuvo por debajo de 44°C en sus respectivas unidades. Por otro lado, el grupo de control y el inoculado con compost pudieron llegar a la misma etapa del proceso unos 7 días después del primer grupo. Estos dos grupos lograron una estabilización más lenta respecto al primero, llegando a equipararse los tres tratamientos para el día 55 aproximadamente, presentando una temperatura promedio de 30°C. Posteriormente, todos los grupos de pacas evidenciaron un ligero aumento de temperatura, llegando alrededor de los 35°C para ir disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar unos 27°C en términos generales en los tres grupos.

De acuerdo con lo anterior, al llegar a dicha temperatura, es posible que los tres grupos hayan alcanzado la maduración del abono en el interior de las pacas. Se evidenció que la etapa con mayores cambios y variaciones de temperatura se presentaron durante los primeros 15 días del proceso. Es probable, si se pudiera mitigar el efecto de las condiciones ambientales sobre las pacas biodigestoras, que la actividad microbiana pueda usar los recursos a su disposición para iniciar el proceso de maduración de los residuos orgánicos al interior de las pacas biodigestoras para que el sustrato pueda alcanzar las características requeridas.

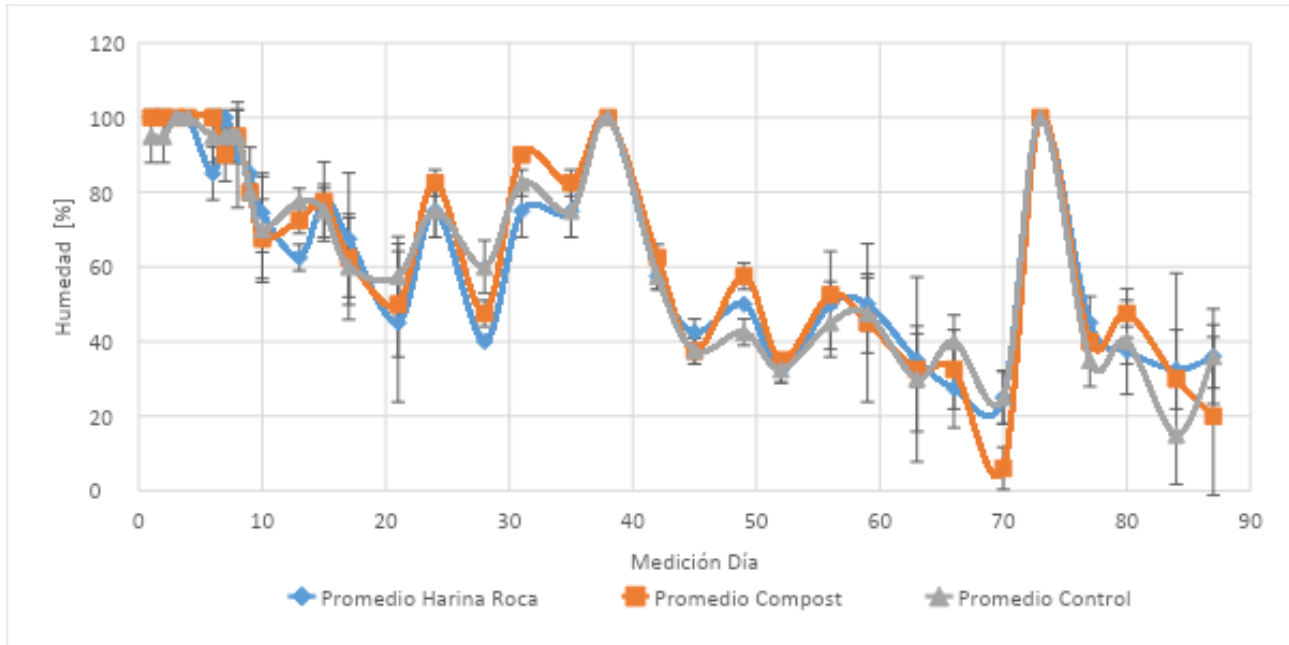
Variación de la humedad

Las mediciones de la humedad muestran un comportamiento bastante complejo dado que durante el periodo de medición se presentaron condiciones de humedad bastante elevadas, lo que provocó unas variaciones puntuales en todos los tratamientos. Lo anterior no permitió una estabilización de los valores de una manera constante, sino que sufrió cambios que elevaron los datos que fueron medidos. Al iniciar las mediciones, los tres grupos arrojaron una humedad promedio elevada, por encima del 80%, incluso, llegando al 100% de humedad. Es posible que las condiciones de alta pluviosidad y humedad ambiental incidieran en este parámetro dentro del material orgánico al interior de las unidades biodigestoras. El grupo de pacas con enmienda fue el primero que alcanzó el porcentaje óptimo de humedad por debajo del 80% que las pacas requieren para que el sustrato logre las condiciones necesarias y el proceso de degradación pueda dar una maduración adecuada de formas más eficiente sin comprometer la calidad del abono resultante.

En términos generales los tres grupos presentaron un comportamiento homogéneo durante todo el periodo de seguimiento. Las curvas presentaron comportamientos similares, es decir, subían, bajaban o se estabilizaban sincrónicamente para los tres tratamientos. La humedad en la ciudad de Medellín fue bastante elevada durante los primeros dos meses, aunque es preciso aclarar que todas las unidades parecieron responder adecuadamente a estas condiciones ambientales y bajo las propiedades intrínsecas de cada una de las unidades se pudieron salvaguardar las condiciones internas para mantener el proceso de maduración del abono orgánico sin inconvenientes.

La humedad en el grupo inoculado con compost tuvo un comportamiento más variable que los otros dos, es decir, fue más sensible a las condiciones del medio en el que estaban las pacas biodigestoras. Cuando la lluvia o la humedad exterior aumentó, las pacas con este acelerador orgánico sufrieron un aumento en su humedad interna, así mismo, cuando las condiciones de humedad externa descendieron, las dos unidades inoculadas con el compost evidenciaron un descenso pronunciado en el mismo parámetro.

Gráfico 2.
Promedios de la humedad en los tres grupos de pacas



Las unidades no inoculadas, por otro lado, mostraron un comportamiento intermedio entre los otros dos grupos. Su comportamiento fue bastante estable siendo más cercano al que estaba inoculado con la harina de roca. Sin embargo, hacia el final del periodo de medición se evidenció una caída en los datos de los promedios de la humedad para el grupo de control por debajo del 30%. Sin embargo, pareció solucionarse rápidamente y estabilizarse por encima del ese valor. El comportamiento de la humedad puede considerarse dentro de los rangos esperados, pero es preciso señalar que sus variaciones son más extremas que las del grupo inoculado con harina de roca.

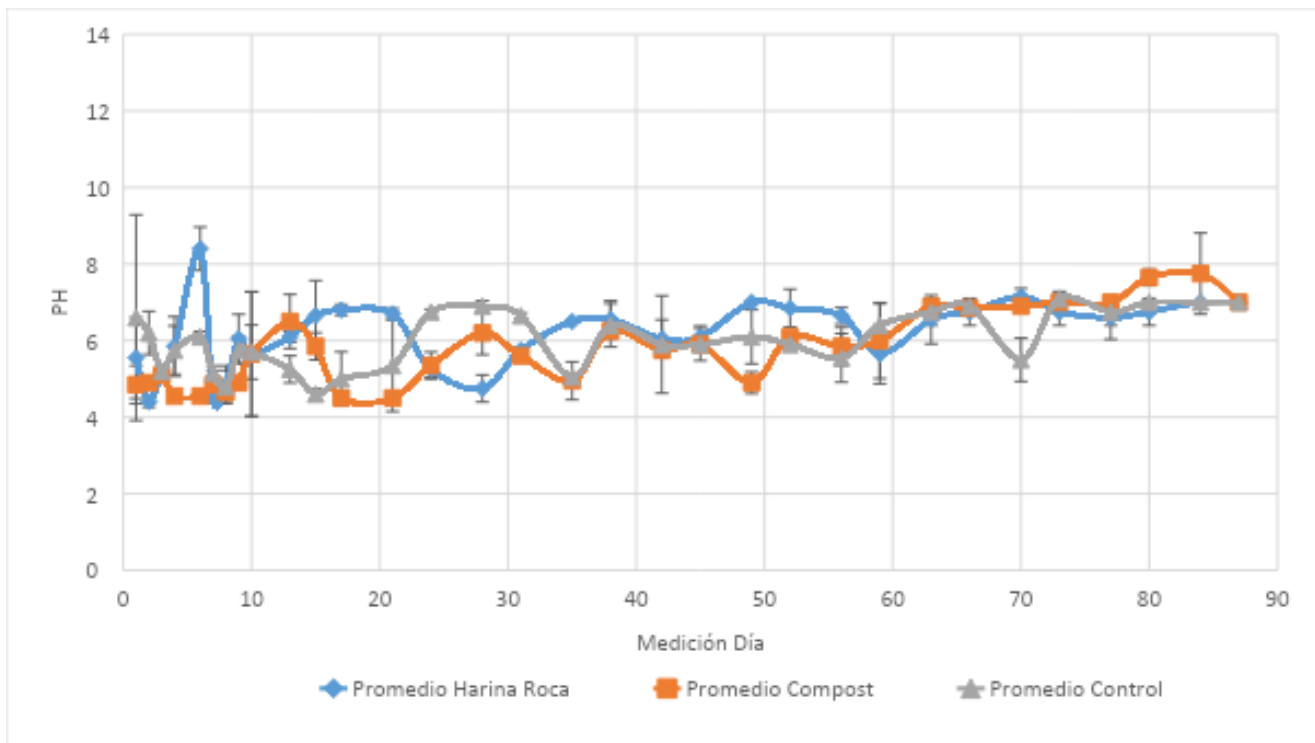
Finalmente, el grupo inoculado con harina de roca tuvo el comportamiento más estable de todos los estudiados respecto a las medidas de los promedios de humedad. Al principio presentó mediciones de la humedad más elevadas respecto a los otros dos tratamientos, llegando incluso al 100%. Sin embargo, alcanzó rápidamente el porcentaje de humedad óptimo por debajo del 80% y por encima del 30%, este valor se mantuvo bastante estable, con dos excepciones puntuales que coincidieron con condiciones de humedad elevadas en la ciudad de Medellín que posiblemente pudieron afectar la medida pero que rápidamente las pacas pudieron volver a estabilizar sin comprometer el proceso de maduración del sustrato dentro de las unidades biodigestoras.

pH

El comportamiento del pH en los tres grupos mostró unas particularidades bastante interesantes. En primer lugar, se puede observar que para cada grupo hay valores totalmente diferentes entre sí al principio del proceso de biodigestión. El valor promedio del pH en el grupo de control estuvo cercano a 7 por lo tanto fue el más neutro de todos, los dos tratamientos con los inoculantes de interés presentaron mayor acidez, el tratamiento de enmienda con un valor cercano a 6, mientras que el grupo inoculado con compost arrojó un valor por debajo de 5. Durante los primeros cinco días hubo variaciones importantes para cada grupo, incluso llegando a ser bastante diferenciado en todos, tal como se evidencia en las curvas de promedio de pH de la gráfica 3. Este comportamiento se atribuye a la composición de cada tratamiento.

Gráfico 3.

Promedio del pH en los tres grupos de pacas



La variación en los valores medios de pH de los tres grupos de pacas fue totalmente heterogénea entre sí durante los primeros 35 días aproximadamente. Las pacas con harina de roca inoculada llegaron a alcanzar un valor promedio de superior a 8 al finalizar la primera semana,

siendo el único grupo que superó dicho valor durante el tiempo de monitoreo. Lo anterior pudo ser un indicio de una fuerte actividad microbiana al interior de las pacas, respaldado por los datos de temperatura que fueron los más elevados entre los tres grupos, logrando que se inhibiera el proceso de fermentación del sustrato (Ossa Carrasquilla, 2016). Después, hubo un corto periodo de alrededor de ocho días en el que todos los promedios de pH en los tres grupos coincidieron en torno a un valor de 6. Posteriormente hubo un nuevo desfase en el valor promedio llegando a ser nuevamente más acelerado para las unidades con enmienda, seguido de las pacas con acelerador sintético y el grupo de control. Finalmente, los valores en las pacas se fueron estabilizando para cada grupo llegando a medirse el promedio en 7 para cada uno respectivamente. Es decir, llegando a un valor neutro.

El grupo de control presentó un comportamiento de pH esperado de acuerdo con los datos de experiencias previas con las pacas biodigestoras. Su evolución fue la más lenta entre los tres grupos. Se destaca que las pacas inoculadas tuvieron el valor promedio de su pH más baja que las unidades de control con un 5,79 y un 6,03 respectivamente. De acuerdo con el marco teórico, la maduración del sustrato dada cuando el valor del pH está cercano a 8 se manifiesta en las mediciones realizadas durante el periodo de monitoreo. Sin embargo, para el grupo de control, durante el periodo en que se llevaron a cabo las mediciones del parámetro fue el que menos cerca estuvo de este valor teórico. El grupo con inóculo orgánico estuvo cerca, aunque nunca lo alcanzó.

En principio, el grupo inoculado tuvo el promedio de pH más neutro entre los tres, cercano al valor de 7. Sin embargo, al cabo de tres días de iniciar el proceso biodigestor, el pH de este grupo descendió rápidamente llegando a ser cercano a 4, siendo el más bajo entre los tres grupos, por tanto, siendo el más ácido. Lo anterior, se debió posiblemente por el aumento de la actividad bacteriana al interior de estas pacas, y se puede relacionar al observar los valores alcanzados por ese grupo en cuanto a la temperatura para el mismo periodo que fueron superiores a 50°C (ver gráfico 1 y anexo 3). El proceso de degradación del material orgánico dentro de las pacas digestoras con la enmienda tuvo un proceso más rápido de estabilización que los demás, es posible que las propiedades químicas del inóculo otorgaran mayor cantidad de energía disponible para que los microorganismos termófilos pudieran acelerar su metabolismo más rápidamente y de esta manera reducir el tiempo para acidificar el sustrato y lograr que los patógenos quedaran inhabilitados para descomponer los residuos.

Al comparar los datos de la tabla 6 y la gráfica 3 y hacer un análisis detallado del comportamiento de las curvas de cada grupo, es posible observar que realmente las curvas se comportan bastante parecido, pero en intervalos de tiempo diferentes, es decir los cambios se dan de forma desfasada entre sí. Se pone de manifiesto que las pacas de control poseen un comportamiento más lento respecto a las que están inoculadas. Estas últimas muestran una variación más rápida en el comportamiento de las medidas de los promedios de pH frente a las unidades no inoculadas. El grupo con el acelerador sintético tiende a tener una tasa de variación del pH con tiempos más cortos respecto al grupo con el inóculo orgánico. Al superponer las medidas con otros datos como la temperatura, se pueden identificar las etapas que la literatura consultada describe respecto al estado de maduración del sustrato en cada grupo.

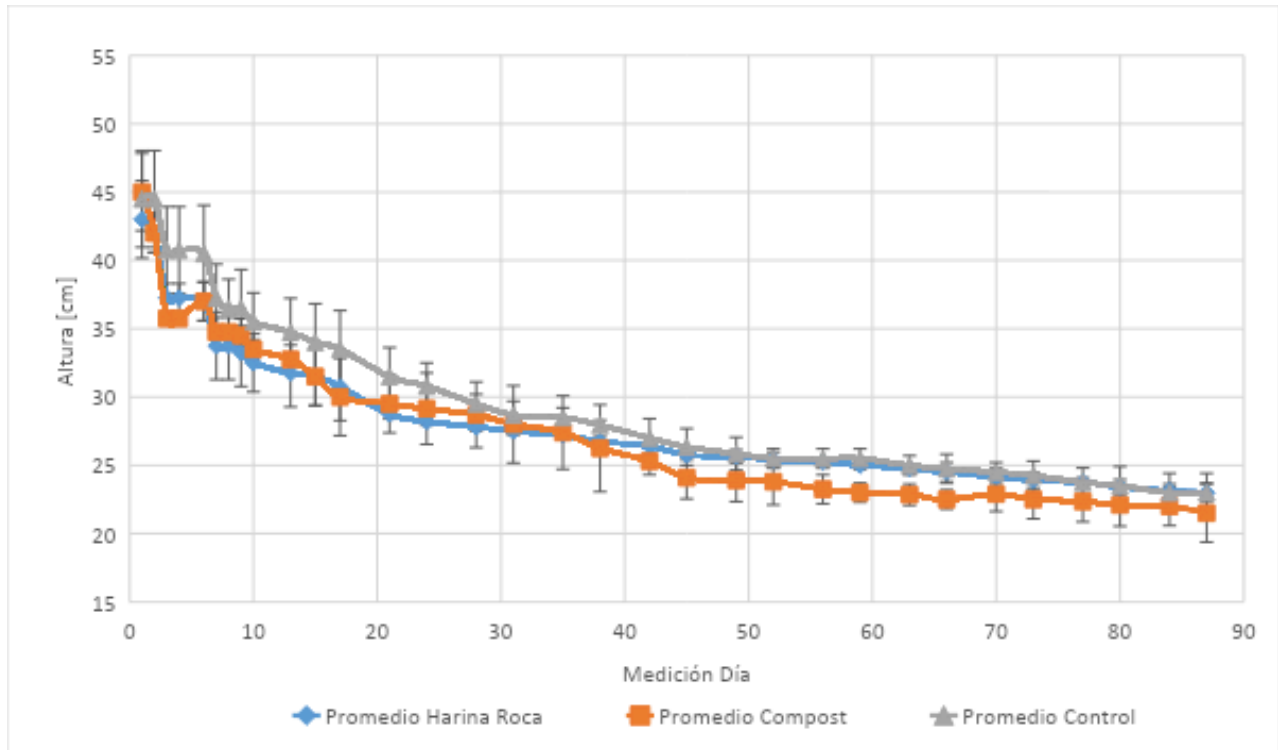
Variación de la altura

Los datos arrojados por las mediciones de las alturas en los tres grupos evidenciaron un comportamiento homogéneo. Las alturas iniciales de las pacas estaban alrededor de los 45 cm, iniciando un descenso casi instantáneo y que se mantuvo sostenido en el período de monitoreo, llegando en cada una de las seis unidades a reducirse a la mitad de la medida inicial, después de 3 meses de seguimiento. La gráfica 4, muestra el comportamiento del promedio de los tres grupos estudiados. Los datos son recopilados desde la tabla 7.

La gráfica 4 evidencia que hay al menos tres etapas que se repiten para todos los grupos de pacas. El primero, se da durante los primeros 15 días el descenso en la altura de las tres pacas es bastante rápido, perdiendo más de 10 cm en cada una de las seis unidades. La segunda etapa tiene una duración aproximada de 40 días en los que la variación en la altura desciende considerablemente respecto a los primeros 15 días. En este periodo, las pacas pierden 10 cm, pero en casi 3 veces más tiempo que al inicio. Por último, el cambio de altura desciende menos de 5 cm para todas las unidades, de esta manera alcanzan un aplanamiento casi absoluto de sus curvas.

Gráfico 4.

Promedios de altura en los tres grupos de pacas



El grupo de control fue el que más lentamente perdió altura en sus respectivas pacas, aunque no de manera relevante respecto a los otros dos grupos, sin embargo, es pertinente señalar que este resultado es acorde con el comportamiento del grupo respecto a los otros parámetros anteriormente medidos y analizados previamente. Por otro lado, el comportamiento de las pacas biodigestoras inoculadas con el acelerador sintético presentan un descenso en la altura mucho más rápido que los otros dos grupos durante los primeros 15 días posteriormente ese descenso siguió siendo acelerado, pero no tanto como en las unidades inoculadas con el compost.

5.3 Caracterización de la calidad del abono obtenido

Para efectos del presente análisis no se tuvieron en cuenta todos los parámetros que los análisis muestran, sino, que se centraron en aquellos que fueron señalados en capítulo 3, referentes a la NTC 5167 de 2004.

Tabla 6.

Resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de sustrato inicial sin tratamiento y final de cada grupo con su respectivo tratamiento.

| Parámetro | Método y/o extractante/Técnica/Norma | Resultado (Base seca) | | | | Valor NTC 5167 | Unidad |
|---------------|--|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|
| | | Muestra Inicial | Muestra Control: Final | Muestra Compost: Final | Muestra Enmienda: Final | | |
| Humedad | Calentamiento 100 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 64,1 | 46,8 | 30,8 | 30,0 | Max: 35 | % |
| Cenizas | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 24,2 | 37,1 | 52,3 | 62,4 | Max: 60 | % |
| CIC | Acetato de amonio pH 7.0/Volumetría/NTC 5167 | 49,5 | 77,5 | 60,6 | 61,8 | Min: 30 | meq/100 g |
| CO | Oxidante/Titolométrica/NTC 5167 | 34,1 | 23,2 | 19,6 | 17,4 | Min: 15 | % |
| CRA | Pasta de saturación/Gravimetría/NTC 5167 | 147,2 | 120,7 | 118,1 | 77,3 | Min: 100 | % |
| Densidad real | Muestra seca y molida/Gravimetría/NTC 5167 | 0,50 | 0,54 | 0,61 | 0,80 | Max: 0,6 | g/cm ³ |
| pH | Pasta de saturación/Potenciometría/NTC 5167 | 5,17 | 6,65 | 6,36 | 6,57 | 4<pH<9 | U pH |

La evidencia sugiere que la humedad del grupo de control en 90 días estuvo por encima 35%, es decir, que posiblemente se necesite más tiempo para poder reducir el valor del parámetro, esto puede ser consistente con el proceso tradicional de las pacas que requiere según su autor alrededor de 6 meses para madurar adecuadamente. Por otro lado, es claro que los aceleradores en el mismo periodo de tiempo del proyecto lograron disminuir este ítem por debajo del valor máximo permitido por la norma.

El contenido de ceniza muestra arrojó que los tres grupos están dentro de los límites exigidos. Se puede evidenciar que el proceso de maduración enriqueció el material orgánico inicial, siendo el grupo con la enmienda el que logró un mayor porcentaje, esto puede ser explicado por la característica del acelerador, harina de roca la cual dependiendo de su origen y composición que para este proyecto no se caracterizó puede estar enriquecida con mayores concentraciones de magnesio (Mg), calcio (Na), potasio (K) y fósforo (P). Así mismo, el grupo con el inóculo tuvo el segundo porcentaje más alto de cenizas, esto también se puede explicar desde la composición inicial del compost, el cual, ya tuvo un proceso de enriquecimiento previo. Finalmente, el grupo de control presentó el valor más bajo entre los tres tratamientos, aunque el proceso claramente muestra un enriquecimiento de estos minerales producto de la actividad microbiana.

El contenido de carbono orgánico oxidable (CO), cuya importancia radica en aspectos como el aumento del CIC, la capacidad tampón sobre la reacción del suelo (pH), una mejor distribución de su espacio poroso, lo cual incide positivamente en la humedad aprovechable y el movimiento de agua y gases. Además, aumenta la fuente energética de los organismos heterótrofos que se encuentran en el suelo tal como concluyen Martínez, Fuentes, & Acevedo (2008). Aunque los tres grupos cumplen con el valor teórico de la normativa, se evidencia un descenso de este porcentaje en todos los tratamientos, siendo más bajo el grupo con la enmienda sintética y el más alto el grupo de control. Lo anterior, puede deberse a la composición química de la harina de roca que para acelerar las actividades microbianas al interior de la paca pudo requerir una mayor reactividad del Carbono (C) disponible en la materia orgánica que los otros dos grupos monitoreados. Lo anterior, puede ser plausible cuando se observa que el grupo inoculado con compost también tuvo un valor cercano al grupo con el acelerador sintético, 19,6% y 17.4% respectivamente.

La densidad real no fue favorable para el grupo con la enmienda, la muestra está muy por encima del valor requerido por la normatividad. Esto pudo deberse a la naturaleza de la harina de roca, dado que no se tuvo en cuenta la caracterización inicial de esta, es posible que su densidad inicial ya fuera elevada, lo cual pudo afectar la densidad real del abono madurado. Esta idea se ve reforzada por el resultado en el mismo parámetro para el grupo con el tratamiento inoculado, el cual obtuvo un 0.61 g/cm^3 , es decir un punto por encima de la NTC 5167. El compost usado como acelerador también debía poseer una densidad inicial alta y que elevó este ítem en el sustrato. Un segundo aspecto que puede respaldar la hipótesis planteada consiste en que la densidad del grupo de control sólo aumentó en 4 puntos respecto a la muestra inicial, es decir, aunque la digestión dentro de la paca después de 3 meses sí aumenta la densidad dado que se va transformando la materia orgánica, la variación no es tan elevada, luego como todos los tratamientos trabajaron con los mismos residuos orgánicos, es plausible considerar el planteamiento inicial de este párrafo. La densidad real del abono ayuda a conocer su porosidad, la cual, tiene un papel importante dado que permite la capacidad de retención y absorción de agua (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2016).

La capacidad de retención de humedad (CRA), se puede entender como una consecuencia de la densidad real, pues permite conocer entre otros datos la porosidad del abono obtenido, de allí su importancia como mejorador de suelos. En consecuencia, con el parámetro anterior, el

grupo con la harina de roca presenta un valor por debajo de la normativa. Lo anterior quizá descarte el producto como abono orgánico en general, sin embargo, es posible evaluar cuál sería su incidencia en un suelo altamente poroso. Ahora bien, los otros dos grupos, por el contrario, muestran valores ajustados a la NTC 5167, lo que es acorde con los resultados arrojados para la densidad real, tal como se señaló previamente.

Se observa que los resultados del pH para todas las muestras está dentro del rango que la normativa exige para este parámetro en la naturaleza del abono de origen orgánico. Sin embargo, observa que el valor subió tomando como punto de partida el valor del pH para la muestra inicial que estaba en 5,7, elevándose sobre 6 para las otras tres muestras finales de cada uno de los tres grupos de pacas estudiados. Es decir, que va bajando su nivel de acidez y tendiendo a ser más neutro. Los valores incluso pueden considerarse prácticamente iguales para las tres muestras, lo cual puede deberse a que tienen un mismo origen y/o preparación en la configuración de las unidades biodigestoras. El grupo de control fue el que alcanzó un valor más alto respecto al resultado inicial realizado sobre la primera muestra.

5.4 Velocidad de degradación del material orgánico

Los resultados reflejan que el grupo con harina de roca obtuvo los mejores resultados respecto al tiempo necesarios para alcanzar las fases de maduración del material orgánico frente al grupo de control y el inoculado con compost. Respecto a la temperatura, el grupo con la enmienda alcanzó un valor por debajo de 45°C a los 15 días de haber iniciado el proceso, mientras que el grupo inoculado lo logró a los 20 días y el grupo de control a los 24 días aproximadamente. Es posible que las características químicas de la harina de roca aportaran los nutrientes necesarios para acelerar la actividad microbiana que desarrollaría la fase termófila más rápidamente respecto a los otros dos y por ende reduciendo el tiempo para que se generaran microorganismos descomponedores.

Para la humedad el comportamiento en los tres grupos fue similar al anterior parámetro, puesto que el grupo con el acelerador sintético logró estabilizar su humedad por debajo del 80% en 10 días desde el inicio del proceso, mientras que el que tenía compost hizo lo propio hasta el día 40 aproximadamente, finalmente el grupo de control no fue sino hasta los 35 días que pudo estabilizarse por debajo de ese valor señalado. Sobra señalar que posteriormente a este tiempo,

hubo dos momentos puntuales donde este límite se volvió a rebasar en todos los grupos, por condiciones ambientales de alta humedad y lluvia.

Respecto al pH, los resultados también evidencian que el grupo con harina de roca logró el valor teórico cercano a 8 en este parámetro a los 45 días de iniciado el proceso, mientras que las unidades con inoculadas llegaron a este valor aproximadamente hasta el día 62, mientras que para el grupo de control este hito sólo fue posible alrededor del día 75 de empezar la degradación en la paca biodigestora. Es claro que los aceleradores, sintéticos o naturales si tienen una incidencia en el tiempo en que el sustrato va alcanzando su maduración de manera más rápida que el método tradicional al tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos monitoreados.

Lo anterior, se evidencia al observar las gráficas de los tres grupos en cada uno de los parámetros medidos durante el proceso de maduración. Este tratamiento en principio parece cumplir con el propósito de acortar el tiempo necesario para obtener un abono orgánico, dado que es el primer grupo en estabilizar la temperatura, el porcentaje de humedad, el nivel de pH y la altura de las unidades biodigestoras donde fue aplicado. El segundo grupo en alcanzar los mismos resultados que el primer tratamiento es aquel que tiene el inóculo orgánico, mientras que el grupo de control sin intervención alguna de acelerador muestra un tiempo más lento respecto a los otros, aunque, se puede considerar normal, dado que es el método tradicional con el que fue desarrollada la idea original.

6. Conclusiones

Las condiciones ambientales no deben ser obviadas a la hora de realizar un proceso de obtención de abono por medio de las pacas biodigestoras dado que su desarrollo se lleva a cabo a la intemperie. La humedad parece ser el parámetro que más puede ser afectado por el medio, en especial si hay mucha lluvia según pudieron mostrar las mediciones realizadas en este estudio. Sin embargo, dado el alcance de este estudio, no es posible determinar la incidencia efectiva en la maduración del sustrato pues no hubo réplicas en donde se controlaron la exposición de las unidades a los elementos del medio.

Las pacas con harina de roca alcanzaron más rápidamente un descenso de la temperatura interna inferior a los 45°C respecto a los otros dos grupos, mientras que las pacas de control alcanzaron el mismo rango casi una semana después que éstas, siendo más lento el proceso para

que los termófilos pudieran realizar su fase de degradación menos efectivo en términos de tiempo que el grupo inoculado. Se permite concluir que con la enmienda se acelera la inhibición de los agentes patógenos que eventualmente podrían deteriorar los residuos orgánicos dentro de la unidad biodigestora. Lo anterior, es importante, pues ayuda a conservar el sustrato respecto al método clásico de las pacas. Posteriormente el proceso se estabiliza en los tres grupos de manera homogénea, permitiendo concluir que la inoculación es positiva en la primera etapa del proceso de biodigestión de las pacas.

Se concluye que mientras no se pueda ayudar a controlar la humedad para las pacas, el inóculo orgánico permite que la paca sea más sensible a las variaciones del medio donde esté ubicada, haciendo necesario que se deba controlar la exposición de la paca respecto al medio. La enmienda, por el contrario, parece estabilizar mejor la humedad interna de la paca. Así mismo, el parámetro pH parece verse afectado inicialmente por el tipo de tratamiento aplicado a la paca, el acelerador sintético parece tener un efecto estabilizador más rápido que un inóculo orgánico y claramente superior al método tradicional. Así mismo, la altura de las pacas también responde con mayor velocidad en aquellos grupos con aceleradores que el método clásico. De lo anterior se infiere que la aplicación de enmiendas e inóculos a las pacas biodigestoras sí incide en la degradación y posterior maduración de material orgánico, acelerando los procesos microbianos al interior de las unidades y por tanto acortando el tiempo necesario para generar abono orgánico con la técnica del ingeniero Silva.

La caracterización hecha para las pacas inoculadas cumplió con todos los valores establecidos por la NTC 5167, es decir, que el abono resultante cumple con las características fisicoquímicas que debe poseer un mejorador de suelo de origen orgánico de acuerdo con la normativa establecido para tal fin. Lo anterior, permite concluir que el planteamiento inicial del proyecto cumple con el objetivo de obtener un material propicio como abono orgánico para uso agrícola a partir de las pacas biodigestoras adicionando un componente que acelere el proceso que permita hacer más eficiente el proceso de maduración dentro de las pacas biodigestoras que tenga la calidad exigida para caracterizarse como un mejorador orgánico pertinente.

La adición de inoculadores orgánicos al proceso de las pacas biodigestoras mostró una mayor eficiencia respecto al tiempo de maduración del grupo de control. En definitiva, al incluir aceleradores de origen orgánico al proceso de biodigestión con pacas se puede obtener abono

orgánico madurado más rápidamente sin perder las propiedades fisicoquímicas necesarias para un mejorador de calidad según la NTC 5167 del ICONTEC.

Ahora bien, aunque el proceso de maduración del sustrato fue más rápido en las unidades biodigestoras que estaban tratadas con la enmienda de harina de roca, y las cantidades abono fueron bastante más elevadas al ser cernidas, los resultados que arrojaron los análisis fisicoquímicos evidenciaron que este mejorador no cumple con tres parámetros al compararlos con la NTC 5167. La cantidad de cenizas estuvo por encima del valor exigido, la densidad real estuvo muy por encima del valor requerido mientras que la capacidad de retención de humedad estaba muy por debajo de su peso. Lo anterior, puede ser una consecuencia en la aceleración del proceso de maduración dentro de la paca biodigestora o quizá a las características fisicoquímicas de la enmienda y cómo influye en la composición final de sustrato.

La velocidad de degradación del material orgánico fue más rápida en el grupo con el tratamiento de harina de roca, seguido del grupo inoculado con compost y por último el grupo de control. Es decir, los aceleradores sí cumplieron su función de acortar el tiempo necesario para la obtención del abono orgánico por medio de las pacas biodigestoras, sin embargo, al contrastar este hecho con los resultados de los análisis fisicoquímicos a las muestras finales de laboratorio del mejorador resultante es posible reconocer que la calidad del abono del tratamiento con el acelerador sintético no cumple con varios parámetros de la NTC 5167 de 2004. Lo anterior, es posible que obedezca a la composición de la enmienda, el volumen utilizado en este proyecto o tal vez al acortamiento del tiempo que requiere el material orgánico para madurar. Sin embargo, el tratamiento con el inóculo que fue el segundo más veloz en alcanzar la maduración, sí cumplió con todos los parámetros de calidad bajo la normativa, lo que invita a concluir que el uso de aceleradores de origen natural como el compost utilizado en las pacas puede disminuir el tiempo requerido para la maduración del sustrato y la obtención de un abono orgánico de alta calidad para su uso como mejorador de suelos.

La aplicación de aceleradores al proceso tradicional de las pacas biodigestoras al permitir la reducción del tiempo de obtención del abono orgánico abre la puerta para procesar una mayor cantidad de residuos orgánicos al tiempo que se reduce la cantidad de material que se vierte en los rellenos sanitarios lo que puede significar el aprovechamiento de este material de residuo para uso agrícola. La escalabilidad de esta técnica posibilita quitar presión en los lugares de

disposición final lo que podría contribuir al aumento en la vida útil de los vertederos. En el mismo sentido, el proyecto Giro Sostenible 2.0, recibe un aporte académico más que permite mejorar el conjunto de herramientas que aumenten el alcance de la disposición final de los residuos orgánicos dentro del campus de la Universidad de Antioquia y que contribuya a escalar el proyecto a otros espacios sociales que generan volúmenes elevados de material orgánico.

7. Recomendaciones

El uso de los inóculos para mejorar o acelerar el proceso de compostaje y en especial de las pacas biodigestora en la obtención de mejoradores de suelos más rápidamente y con altos estándares de calidad según la normativa vigente, es un estudio importante que requiere de mayores aportes experimentales para poder obtener una visión más completa de su viabilidad. Es necesario realizar nuevos proyectos con aceleradores que nutran esta línea de investigación para identificar con mayor precisión los tipos de aceleradores pertinentes de acuerdo con las características del medio donde se desarrolle el proceso de biodegradación de residuos sólidos con las unidades biodigestoras.

Es importante realizar un seguimiento minucioso de los tipos de aceleradores orgánicos o inorgánicos o las combinaciones de ambos con el objetivo de verificar de manera óptima las capacidades de biodegradación de los residuos orgánicos. De esta manera, se deben proponer modelos escalables y una difusión social más efectiva del uso de las pacas y las técnicas aplicadas al proceso para obtener un mayor impacto en el aprovechamiento de los residuos sólidos que contribuyan a mejorar las condiciones medioambientales y sociales donde se apliquen estos procesos. Es prudente seguir realizando más ensayos con diferentes variaciones de los elementos que intervinieron e intentar iterar con diferentes condiciones de intemperie para obtener una base de datos más robusta que pueda contribuir con información más precisa.

Se recomienda, retomar este mismo estudio usando diferentes tipos de inóculos orgánicos correctamente caracterizados, al igual que distintos tipos de aceleradores sintéticos con propiedades diferentes que hipotéticamente puedan aplicarse al proceso de las pacas biodigestoras para disminuir el tiempo de producción de abono orgánico y que potencie las propiedades fisicoquímicas como mejorador natural del suelo sin importar la escala del propósito de su aplicación. Además, se recomienda llevar a cabo experimentos de cada proceso bajo condiciones climáticas diferentes lo que implica que pueda hacerse en diferentes ubicaciones

geográficas y en diferentes épocas del año y así obtener diversidad de datos que puedan ser analizados más a profundidad y que puedan brindar una información más robusta. Finalmente, se considera pertinente realizar estudios donde se pueda hacer un seguimiento posterior al uso de los abonos obtenidos para conocer su impacto en campo sobre un suelo.

Referencias

- Antury Abello, V. (2022). *Evaluación de aceleradores para el tratamiento de residuos orgánicos del barrio Portal de María en Facatativá, Cundinamarca, a través de pacas digestoras*. Facatativa: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Bohórquez Páez, A. (2013). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azúcar en la compañía Riopaila Castilla, Valle del Cauca, Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/34519/7010>
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Libros en acceso abierto. 72. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/libros/72>
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera, F. (2008). Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En *El proceso de compostaje* (págs. 93-109). Obtenido de <https://digital.csic.es/handle/10261/20837>
- Corantioquia. (2023). *CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA*. Obtenido de <https://www.corantioquia.gov.co/corantioquia-alerta-vida-util-rellenos-sanitarios/>
- Galviz Gonzalez, J. (2016). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*(22), 7-28. Obtenido de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionyregion/article/view/149/146>
- ICONTEC. (2004). *NTC 5167*.
- IDEAM. (2005). <http://www.ideam.gov.co/>. Obtenido de <https://tinyurl.com/qekphz>
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 68-96.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. (2010). Obtenido de <https://tinyurl.com/qekphz>
- Ocampo, J., & Cabrales, W. (2023). *Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en el municipio de Carepa-Antioquia*. Carepa.
- Ossa Carrasquilla, L. (2016). *Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia*.

- Medellín: Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://tinyurl.com/qekphz>
- Ossa-Carrasquilla, L. C., Correa-Ochoa, M. A., & Múnera-Porras, L. M. (2020). La paca biodigestora como estrategia de tratamiento de residuos orgánicos: una revisión bibliográfica. *REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA*, 15(2), 71-91. doi:DOI: 10.22507/pml.v15n2a4
- Pastrana, L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4-12.
- Silva Perez, G. (Diciembre de 2018). ¿Qué es la paca digestora silva? Un Reciclaje Orgánico Limpio y Saludable. *Revista TECSISTECATL*(23). Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11763/tecsistecatln23paca-digestora-silva>
- Silva, G. (2018). “¿Qué es la paca digestora silva? Un Reciclaje Organico Limpio y Saludable. *TECSISTECATL*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/tecsistecatln23/paca-digestora-silva.html>
- Stanier, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Page, P. (1992). *Microbiología*. Barcelona: Reverté.
- Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Revista Agroproductividad*, 52-58.
- Zapata, V. (2017). *BELIEVE.EARTH*. Recuperado el 2024, de BELIEVE.EARTH: <https://tinyurl.com/2ba7zj8v>

Anexos

Anexo 1. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas de control

A continuación, se muestra la tabla con las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de interés para las pacas de control, es decir aquellas que no tenían ningún tipo de inóculo:

Tabla 7.

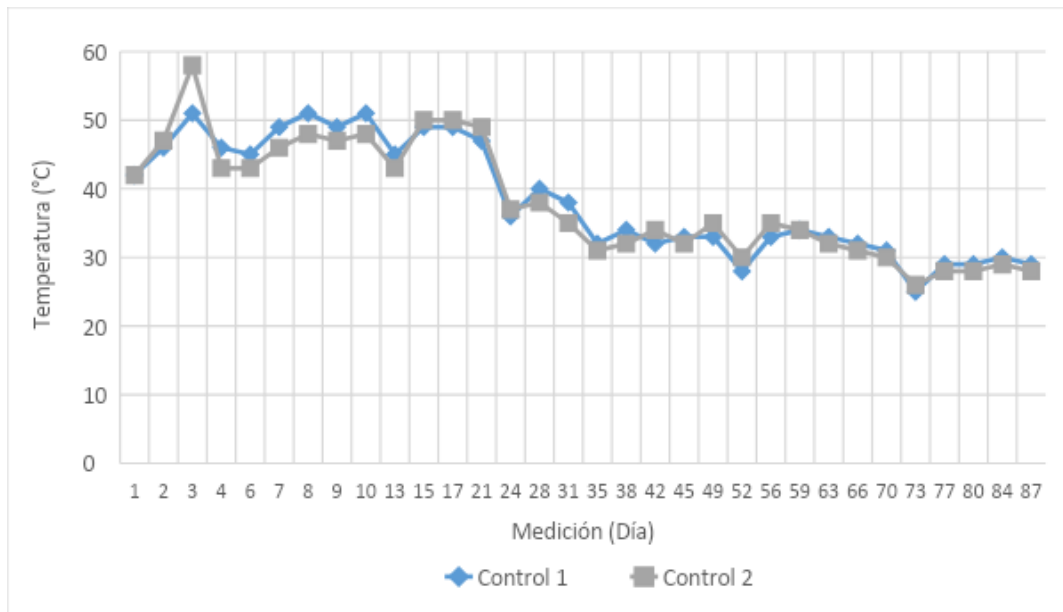
Mediciones de parámetros fisicoquímicos de las dos pacas de control con fechas

| Fecha | Medición (Día) | Temperatura (°C) | | pH | | Humedad (%) | | Altura (cm) | |
|------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Control 1 | Control 2 | Control 1 | Control 2 | Control 1 | Control 2 | Control 1 | Control 2 |
| 22/11/2023 | 1 | 42 | 42 | 8.5 | 4.7 | 90 | 100 | 42 | 47 |
| 23/11/2023 | 2 | 46 | 47 | 6.6 | 5.8 | 90 | 100 | 42 | 47 |
| 24/11/2023 | 3 | 51 | 58 | 5.3 | 5.1 | 100 | 100 | 38.5 | 43 |
| 25/11/2023 | 4 | 46 | 43 | 6.2 | 5.3 | 100 | 100 | 38.5 | 43 |
| 27/11/2023 | 6 | 45 | 43 | 6.2 | 6 | 90 | 100 | 38 | 43 |
| 28/11/2023 | 7 | 49 | 46 | 5.2 | 5.1 | 90 | 100 | 35.5 | 39 |
| 29/11/2023 | 8 | 51 | 48 | 5.1 | 4.5 | 90 | 100 | 35 | 38 |
| 30/11/2023 | 9 | 49 | 47 | 5.5 | 6 | 80 | 80 | 34.5 | 38.5 |
| 1/12/2023 | 10 | 51 | 48 | 5.2 | 6.2 | 60 | 80 | 34 | 37 |
| 4/12/2023 | 13 | 45 | 43 | 5.5 | 5 | 80 | 75 | 33 | 36.5 |
| 6/12/2023 | 15 | 49 | 50 | 4.7 | 4.5 | 80 | 70 | 32 | 36 |
| 8/12/2023 | 17 | 49 | 50 | 4.5 | 5.5 | 50 | 70 | 31.5 | 35.5 |
| 12/12/2023 | 21 | 47 | 49 | 6.2 | 4.5 | 50 | 65 | 30 | 33 |
| 15/12/2023 | 24 | 36 | 37 | 6.7 | 6.8 | 70 | 80 | 29.6 | 32 |
| 19/12/2023 | 28 | 40 | 38 | 7 | 6.8 | 65 | 55 | 29 | 30 |
| 22/12/2023 | 31 | 38 | 35 | 6.7 | 6.6 | 85 | 80 | 28 | 29.4 |
| 26/12/2023 | 35 | 32 | 31 | 5 | 5.1 | 70 | 80 | 28 | 29 |
| 29/12/2023 | 38 | 34 | 32 | 6 | 6.8 | 100 | 100 | 27.7 | 28.2 |
| 2/01/2024 | 42 | 32 | 34 | 5 | 6.8 | 55 | 60 | 26 | 28 |
| 5/01/2024 | 45 | 33 | 32 | 5.6 | 6.2 | 40 | 35 | 25.4 | 27.3 |
| 9/01/2024 | 49 | 33 | 35 | 6.6 | 5.6 | 40 | 45 | 25 | 26.7 |
| 12/01/2024 | 52 | 28 | 30 | 5.8 | 6 | 35 | 30 | 25 | 26 |

| | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 16/01/2024 | 56 | 33 | 35 | 6 | 5.1 | 50 | 40 | 25 | 26 |
| 19/01/2024 | 59 | 34 | 34 | 6 | 6.8 | 40 | 55 | 25 | 26 |
| 23/01/2024 | 63 | 33 | 32 | 7 | 6.5 | 20 | 40 | 24.5 | 25.5 |
| 26/01/2024 | 66 | 32 | 31 | 6.8 | 7 | 35 | 45 | 24 | 25.5 |
| 30/01/2024 | 70 | 31 | 30 | 5.1 | 5.9 | 20 | 30 | 24 | 25 |
| 2/01/2024 | 73 | 25 | 26 | 7 | 7.2 | 100 | 100 | 23.5 | 25 |
| 6/02/2024 | 77 | 29 | 28 | 7 | 6.5 | 30 | 40 | 23 | 24.5 |
| 9/02/2024 | 80 | 29 | 28 | 7 | 7 | 50 | 30 | 22.5 | 24.5 |
| 13/02/2024 | 84 | 30 | 29 | 7 | 7 | 15 | 15 | 22 | 24 |
| 16/02/2024 | 87 | 29 | 28 | 7 | 7 | 45 | 27 | 22 | 24 |

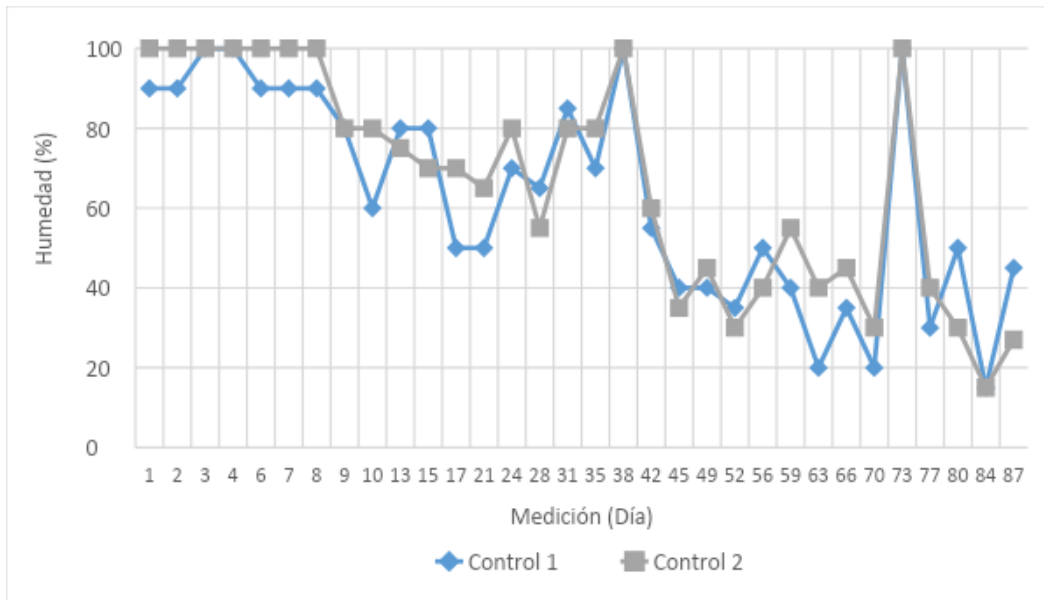
A continuación, se presentan las gráficas que representan el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos medidos en las pacas de control a partir de los datos de la tabla anterior:

Gráfico 5.
Mediciones de temperatura en pacas de control



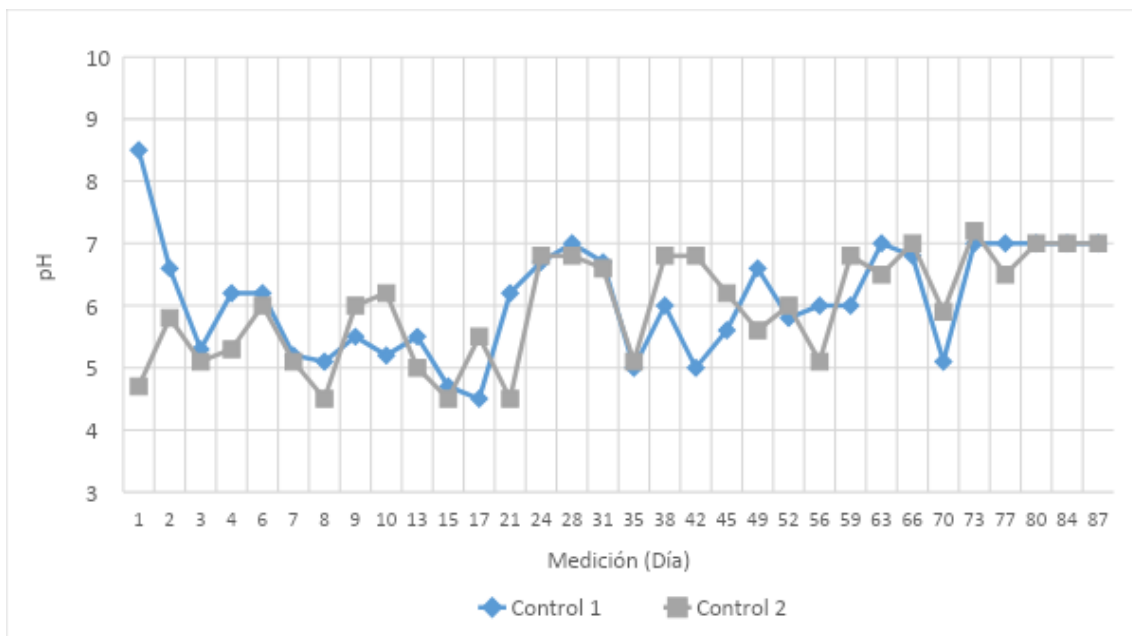
Nota. Las temperaturas en las dos pacas del grupo de control (sin inocular) mostraron un desfase inicial.

Gráfico 6.
Mediciones de la humedad en pacas de control



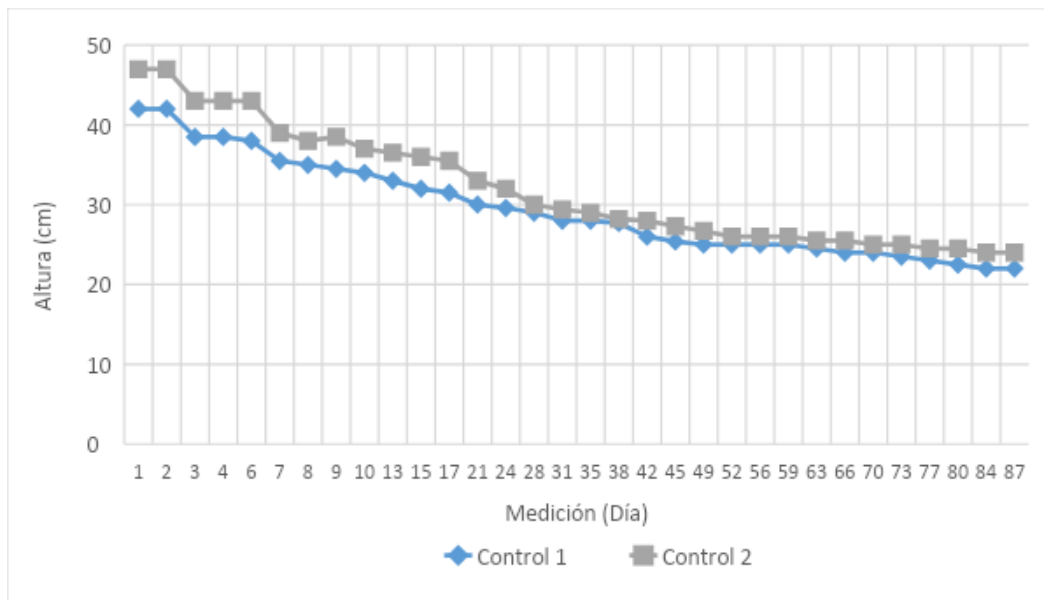
Nota. Las humedades en las dos pacas del grupo de control (sin inocular) mostraron un desfase durante al menos cuatro momentos del periodo de observación.

Gráfico 7.
Mediciones del pH en pacas de control



Nota. Las medidas del pH en las dos pacas del grupo de control (sin inocular) mostraron un desfase inicial que finalmente se disipó.

Gráfico 8.
Mediciones de la altura en pacas de control



Nota. Las alturas de las dos pacas del grupo de control (sin inocular) mostraron un comportamiento significativamente homogéneo durante el tiempo de medición.

Anexo 2. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas inoculadas con compost

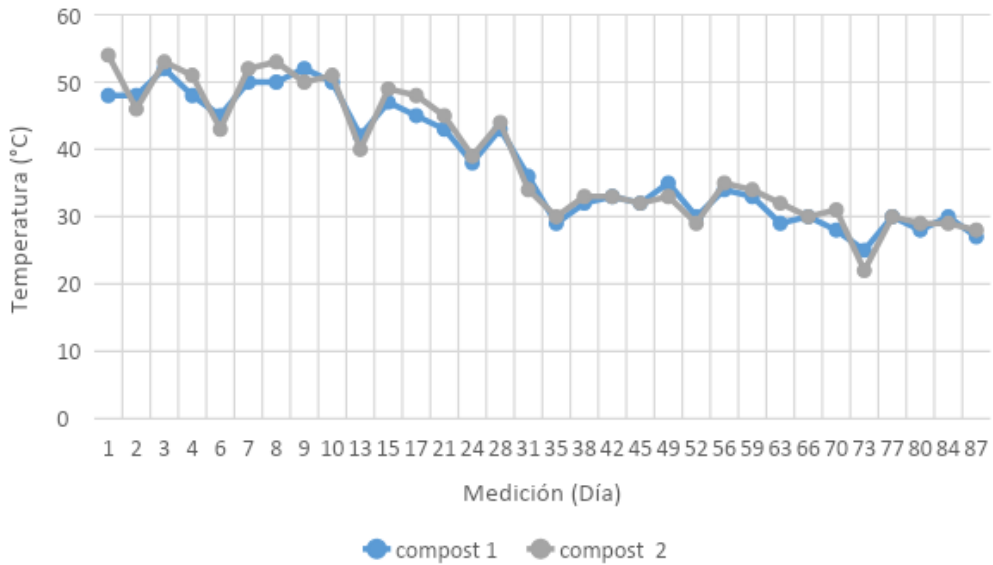
A continuación, se muestra la tabla con las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de interés para las pacas con inóculo orgánico:

Tabla 8.
Mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las pacas inoculadas con compost.

| Fecha | Medición (Día) | Temperatura (°C) | | pH | | Humedad (%) | | Altura (cm) | |
|------------|-----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | compost 1 | compost 2 | compost 1 | compost 2 | compost 1 | compost 2 | compost 1 | compost 2 |
| 22/11/2023 | 1 | 48 | 54 | 4.5 | 5.2 | 100 | 100 | 43 | 47 |
| 23/11/2023 | 2 | 48 | 46 | 4.8 | 5 | 100 | 100 | 43 | 41 |
| 24/11/2023 | 3 | 52 | 53 | 5.1 | 5.1 | 100 | 100 | 35.5 | 36 |
| 25/11/2023 | 4 | 48 | 51 | 4.5 | 4.6 | 100 | 100 | 35.5 | 36 |
| 27/11/2023 | 6 | 45 | 43 | 4.5 | 4.6 | 100 | 100 | 38 | 36 |
| 28/11/2023 | 7 | 50 | 52 | 4.5 | 5.2 | 85 | 95 | 34 | 35.5 |
| 29/11/2023 | 8 | 50 | 53 | 4.8 | 4.5 | 100 | 90 | 34 | 35.5 |
| 30/11/2023 | 9 | 52 | 50 | 4.8 | 5 | 80 | 80 | 34 | 35 |
| 1/12/2023 | 10 | 50 | 51 | 6.8 | 4.5 | 60 | 75 | 33 | 34 |
| 4/12/2023 | 13 | 42 | 40 | 7 | 6 | 70 | 75 | 32 | 33.5 |
| 6/12/2023 | 15 | 47 | 49 | 6.1 | 5.6 | 70 | 85 | 30 | 33 |
| 8/12/2023 | 17 | 45 | 48 | 4.5 | 4.5 | 55 | 70 | 28 | 32 |
| 12/12/2023 | 21 | 43 | 45 | 4.5 | 4.5 | 40 | 60 | 28 | 31 |
| 15/12/2023 | 24 | 38 | 39 | 5.1 | 5.6 | 80 | 85 | 27.3 | 31 |
| 19/12/2023 | 28 | 43 | 44 | 6.6 | 5.8 | 50 | 45 | 27 | 30.4 |
| 22/12/2023 | 31 | 36 | 34 | 5.5 | 5.7 | 90 | 90 | 26 | 30 |
| 26/12/2023 | 35 | 29 | 30 | 5.3 | 4.6 | 80 | 85 | 25.5 | 29.3 |
| 29/12/2023 | 38 | 32 | 33 | 6.3 | 6.2 | 100 | 100 | 24 | 28.5 |
| 2/01/2024 | 42 | 33 | 33 | 5.8 | 5.7 | 60 | 65 | 24.6 | 26 |
| 5/01/2024 | 45 | 32 | 32 | 6 | 5.8 | 35 | 40 | 23 | 25.2 |
| 9/01/2024 | 49 | 35 | 33 | 5.1 | 4.7 | 60 | 55 | 22.8 | 25 |
| 12/01/2024 | 52 | 30 | 29 | 6 | 6.2 | 35 | 35 | 22.6 | 25 |
| 16/01/2024 | 56 | 34 | 35 | 5.5 | 6.2 | 50 | 55 | 22.5 | 24 |
| 19/01/2024 | 59 | 33 | 34 | 5.3 | 6.7 | 30 | 60 | 22.5 | 23.5 |

| | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 23/01/2024 | 63 | 29 | 32 | 6.8 | 7 | 15 | 50 | 22.3 | 23.4 |
| 26/01/2024 | 66 | 30 | 30 | 7 | 6.7 | 25 | 40 | 22 | 23 |
| 30/01/2024 | 70 | 28 | 31 | 7 | 6.8 | 2 | 10 | 22 | 23.8 |
| 2/02/2024 | 73 | 25 | 22 | 7.2 | 6.8 | 100 | 100 | 21.5 | 23.5 |
| 6/02/2024 | 77 | 30 | 30 | 7 | 7 | 40 | 40 | 21.3 | 23.4 |
| 9/02/2024 | 80 | 28 | 29 | 7.8 | 7.5 | 45 | 50 | 21 | 23.2 |
| 13/02/2024 | 84 | 30 | 29 | 8.5 | 7 | 10 | 50 | 21 | 23 |
| 16/02/2024 | 87 | 27 | 28 | 7 | 7 | 35 | 5 | 20 | 23 |

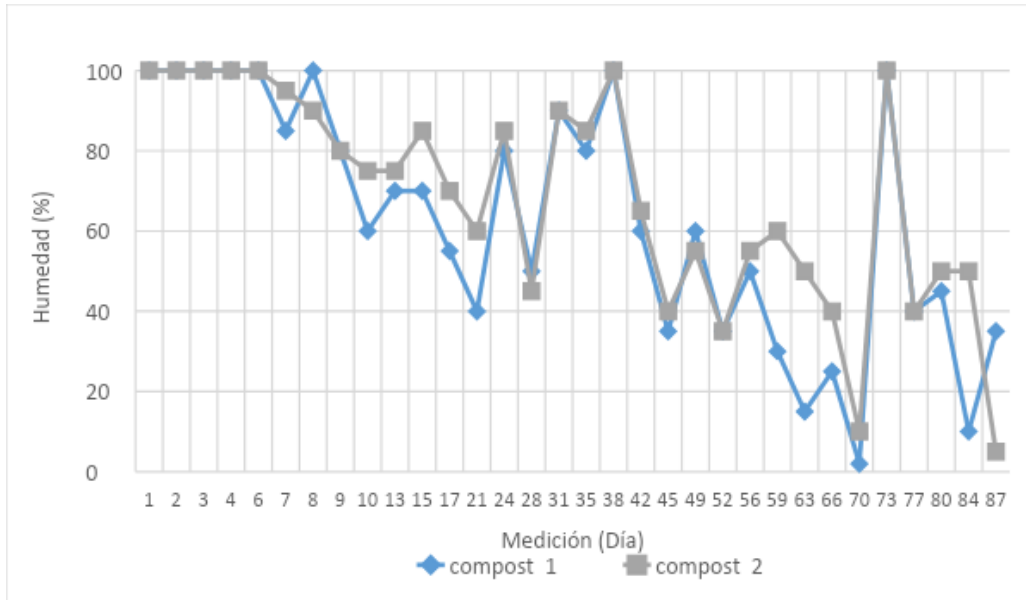
Gráfico 9.
Mediciones de la temperatura en pacas inoculadas con compost



Nota. Las temperaturas en las dos pacas inoculadas con compost mostraron un desfase un comportamiento homogéneo durante todo el tiempo de medición.

Gráfico 10.

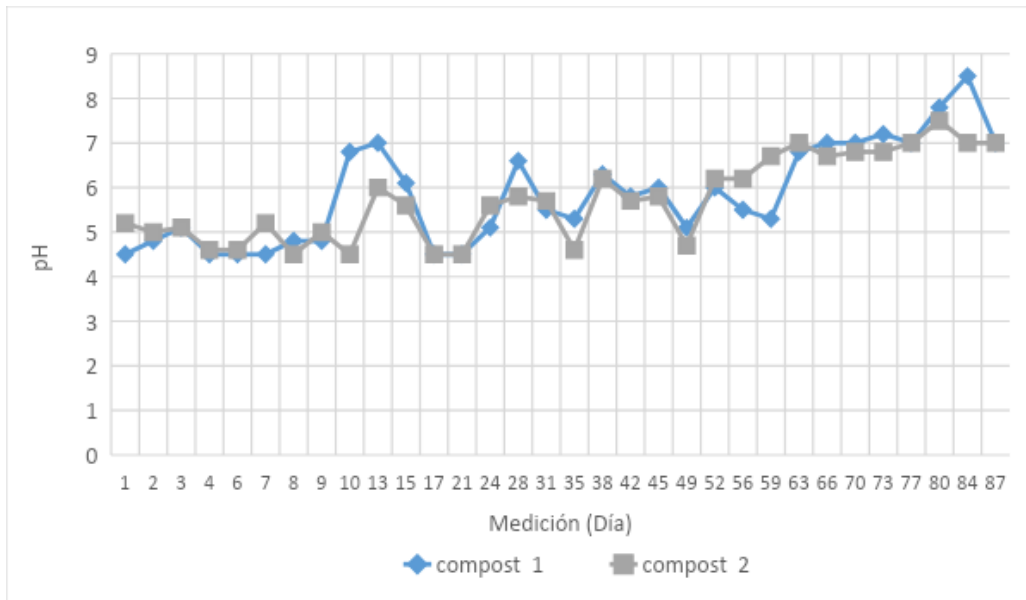
Mediciones de la humedad en pacas inoculadas con compost



Nota. Las humedades en las dos pacas inoculadas con compost mostraron un desfase final superior a 20% y en algunos llegando a más de 30%, aunque es posible señalar que su comportamiento es similar.

Gráfico 11.

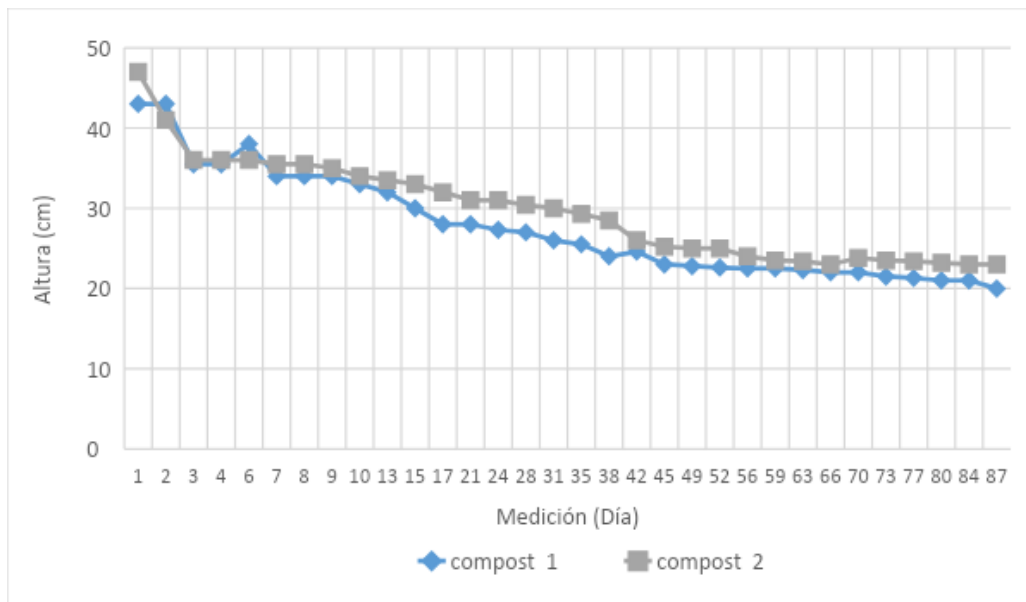
Mediciones del pH en pacas inoculadas con compost



Nota. Las medidas del pH en las dos pacas inoculadas con compost mostraron un comportamiento ascendente durante el tiempo de la medición.

Gráfico 12.

Mediciones de la altura en pacas inoculadas con compost



Nota. Las alturas de las dos pacas inoculadas con compost mostraron un comportamiento significativamente homogéneo durante el tiempo de medición.

Anexo 3. Tablas y gráficos de las mediciones para las pacas inoculadas con harina de roca

A continuación, se muestra la tabla con las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de interés para las pacas con enmienda:

Tabla 9.

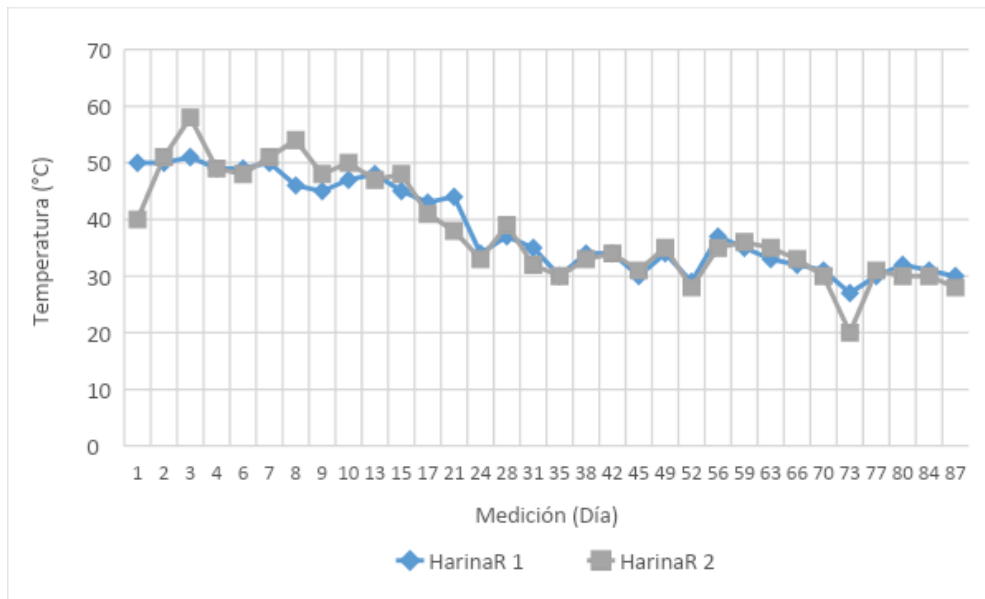
Mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las pacas con enmienda

| Fecha | Medición (Día) | Temperatura (°C) | | pH | | Humedad (%) | | Altura (cm) | |
|------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | HarinaR 1 | HarinaR 2 | HarinaR 1 | HarinaR 2 | HarinaR 1 | HarinaR 2 | HarinaR 1 | HarinaR 2 |
| 22/11/2023 | 1 | 50 | 40 | 6.3 | 4.8 | 100 | 100 | 45 | 41 |
| 23/11/2023 | 2 | 50 | 51 | 4.5 | 4.3 | 100 | 100 | 43 | 41 |
| 24/11/2023 | 3 | 51 | 58 | 5.1 | 5.3 | 100 | 100 | 38 | 36.5 |
| 25/11/2023 | 4 | 49 | 49 | 5.3 | 6.4 | 100 | 100 | 38 | 36.5 |
| 27/11/2023 | 6 | 49 | 48 | 8.8 | 8 | 80 | 90 | 38 | 36 |
| 28/11/2023 | 7 | 50 | 51 | 4.5 | 4.5 | 100 | 100 | 35.5 | 32 |
| 29/11/2023 | 8 | 46 | 54 | 4.5 | 5.2 | 80 | 100 | 35.5 | 32 |
| 30/11/2023 | 9 | 45 | 48 | 6.5 | 5.6 | 80 | 90 | 35 | 31.5 |
| 1/12/2023 | 10 | 47 | 50 | 6.8 | 4.5 | 82 | 67 | 34 | 31 |
| 4/12/2023 | 13 | 48 | 47 | 6 | 6.2 | 65 | 60 | 33.5 | 30 |
| 6/12/2023 | 15 | 45 | 48 | 6 | 7.3 | 80 | 75 | 33 | 30 |
| 8/12/2023 | 17 | 43 | 41 | 6.9 | 6.7 | 55 | 80 | 32.5 | 29 |
| 12/12/2023 | 21 | 44 | 38 | 6.8 | 6.6 | 60 | 30 | 28.5 | 29 |
| 15/12/2023 | 24 | 34 | 33 | 5.1 | 5.4 | 80 | 70 | 28 | 28.4 |
| 19/12/2023 | 28 | 37 | 39 | 4.5 | 5 | 40 | 40 | 27.6 | 28 |
| 22/12/2023 | 31 | 35 | 32 | 5.7 | 5.8 | 80 | 70 | 27.3 | 27.7 |
| 26/12/2023 | 35 | 30 | 30 | 6.5 | 6.5 | 80 | 70 | 27 | 27.4 |
| 29/12/2023 | 38 | 34 | 33 | 6.2 | 6.9 | 100 | 100 | 26.5 | 27 |
| 2/01/2024 | 42 | 34 | 34 | 6.4 | 5.7 | 55 | 60 | 26 | 26.8 |
| 5/01/2024 | 45 | 30 | 31 | 6.3 | 5.9 | 45 | 40 | 25.5 | 26 |
| 9/01/2024 | 49 | 34 | 35 | 7 | 7 | 50 | 50 | 25.3 | 26 |
| 12/01/2024 | 52 | 29 | 28 | 7.2 | 6.5 | 30 | 35 | 25 | 25.8 |
| 16/01/2024 | 56 | 37 | 35 | 6.8 | 6.5 | 40 | 60 | 25 | 25.5 |

| | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 19/01/2024 | 59 | 35 | 36 | 6.2 | 5.1 | 55 | 45 | 24.8 | 25.2 |
| 23/01/2024 | 63 | 33 | 35 | 7 | 6.1 | 30 | 40 | 24.5 | 25 |
| 26/01/2024 | 66 | 32 | 33 | 6.5 | 7 | 20 | 35 | 24 | 25 |
| 30/01/2024 | 70 | 31 | 30 | 7 | 7.3 | 20 | 30 | 23.7 | 24.6 |
| 2/02/2024 | 73 | 27 | 20 | 6.5 | 7 | 100 | 100 | 23.5 | 24.3 |
| 6/02/2024 | 77 | 30 | 31 | 7 | 6.2 | 40 | 50 | 23.5 | 24 |
| 9/02/2024 | 80 | 32 | 30 | 7 | 6.5 | 35 | 40 | 23 | 23.8 |
| 13/02/2024 | 84 | 31 | 30 | 7 | 7 | 25 | 40 | 22.8 | 23.5 |
| 16/02/2024 | 87 | 30 | 28 | 7 | 7 | 30 | 42 | 22.5 | 23.5 |

Gráfico 13.

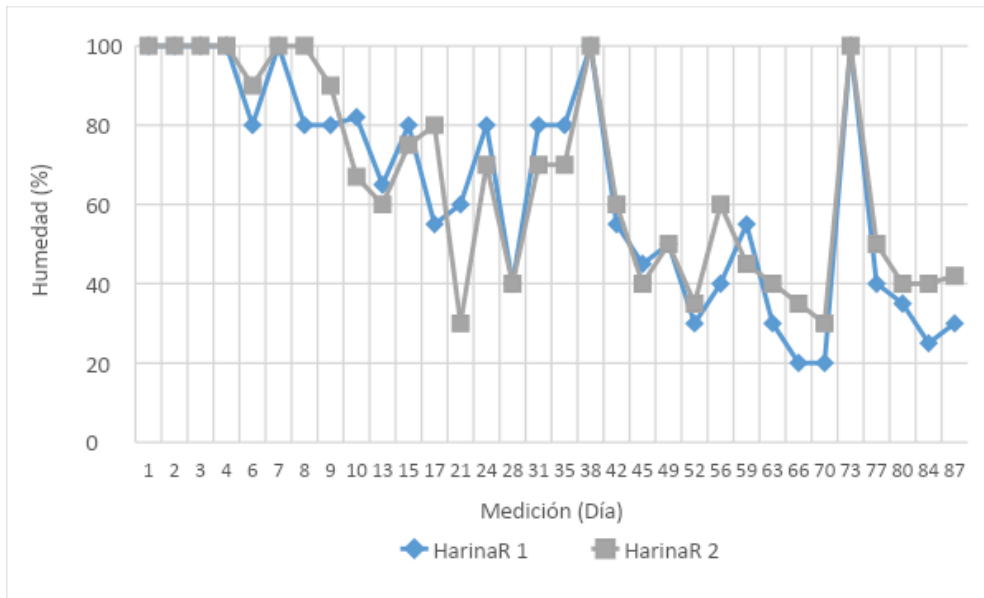
Mediciones de la temperatura en pacas inoculadas con harina de roca



Nota. Las temperaturas en las dos pacas inoculadas con harina de roca mostraron un desfase inicial de hasta 10°C que se disipó casi en su totalidad a partir del décimo día de medición y manteniéndose homogéneo durante el resto del periodo de medición.

Gráfico 14.

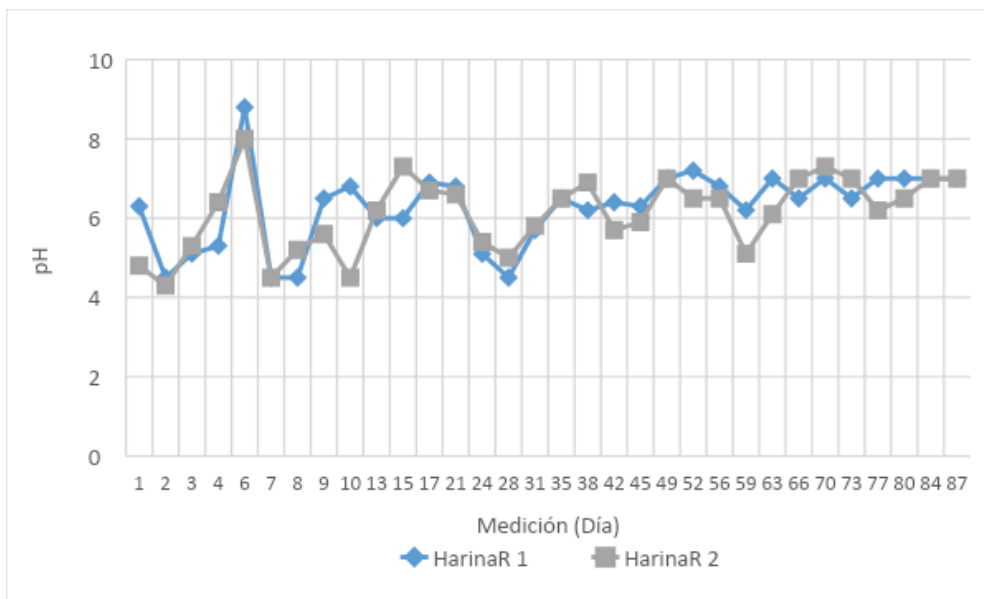
Mediciones de la humedad en pacas inoculadas con harina de roca



Nota. Las humedades en las dos pacas inoculadas con harina de roca mostraron un desfase significativo para el décimo día de medición de aproximadamente un 30% de diferencia.

Gráfico 15.

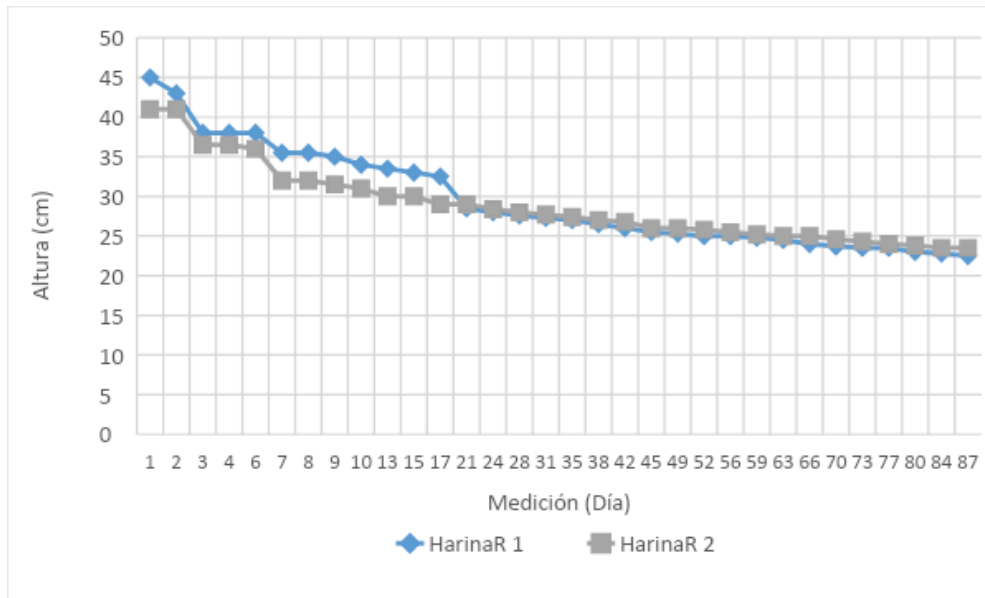
Mediciones del pH en pacas inoculadas con harina de roca



Nota. Las medidas del pH en las dos pacas inoculadas con harina de roca mostraron un ligero desfase en dos intervalos de unos 7 días aproximadamente, sin embargo, el comportamiento en general fue similar.

Gráfico 16.

Mediciones de la altura en pacas inoculadas con harina de roca



Nota. Las alturas de las dos pacas del grupo inoculado con harina de roca mostraron un comportamiento significativamente homogéneo durante el tiempo de medición.

Anexo 4. Norma Técnica Colombia 5167 de 2004

A continuación, se anexa el apartado E de la NTC 5167 de 2004 referente a las características de los abonos orgánicos recomendados por el ICONTEC:

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5167 DE 2004

PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA. PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELO

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.

2. DEFINICIONES

Para efectos de la presente norma se aplican las definiciones consignadas en la NTC 1927.

3. REQUISITOS

3.1 REQUISITOS GENERALES

3.1.1 Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones.

3.1.2 Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.

3.1.3 Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

3.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS

3.2.1 Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas del suelo, deben cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 1.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5167 (Primera actualización)

Tabla 1. Requisitos específicos

| Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|----|-------------|----|------------|-------|---------------|----|-------------|-----|------------|-----|---|
| Fertilizantes o abonos orgánicos | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clasificación del producto | Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales | Parámetros a caracterizar | Parámetros a garantizar (en base húmeda) | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| Abono orgánico | Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican. | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por volatilización % * • Contenido de cenizas máximo 60 % * • Contenido de humedad %: <ul style="list-style-type: none"> - Para materiales de origen animal, máximo 20 % - Para materiales de origen vegetal, máximo 35 % - Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante. • Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 % • N, P₂O₅ y K₂O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) • Relación C/N • Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100 g) • Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso • pH mayor de 4 y menor de 9 • Densidad máximo 0,8 g/cm³ • Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr> <tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr> <tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr> <tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr> <tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr> <tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr> </table> • Se indicará la materia prima de la cual procede el producto | Arsénico (As) | 41 | Cadmio (Cd) | 39 | Cromo (Cr) | 1 200 | Mercurio (Hg) | 17 | Níquel (Ni) | 420 | Plomo (Pb) | 300 | <ul style="list-style-type: none"> Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) Humedad máxima (%) Contenido de cenizas (%) Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) kg⁻¹) (meq/100 g) Capacidad de Retención de Humedad (%) pH Contenido de Nitrógeno Total (% N) Densidad (g/cm³) |
| Arsénico (As) | 41 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cadmio (Cd) | 39 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cromo (Cr) | 1 200 | | | | | | | | | | | | | | |
| Mercurio (Hg) | 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| Níquel (Ni) | 420 | | | | | | | | | | | | | | |
| Plomo (Pb) | 300 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | * La suma de estos parámetros debe ser 100 | | | | | | | | | | | | | |



Continúa...

Anexo 5. Resultados de los análisis de laboratorio de las muestras del sustrato de las pacas



A continuación, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico de laboratorio aplicado a las muestras en su etapa inicial:

| UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | | REPORTE DE RESULTADOS | | UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA GEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares | | | |
|--|---------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|--------|---|
| | | CORPORACION DE PATOLOGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 19/12/2023 | | | |
| 1-DESCRIPCION FISICA DE LA MUESTRA | | CODIGO INTERNO: 17nov2309 | | | | | |
| Fecha de toma de muestra: | Responsable muestreo: | Fecha recibe - GIEM | Responsable Recibe: | | | | |
| 16/11/2023 | Cliente o usuario | 17/11/2023 | Coordinador Tecnico y de Servicios | | | | |
| Rotulado | Tipo de Muestra | Color | Estado | Textura/Aspecto | | | |
| Compost proyecto Giro Sostenible | Abono | Cafe | Solida | Heterogénea | | | |
| 2. INFORMACIÓN SOBRE EL USUARIO | | | | | | | |
| Nombre Usuario o Empresa | Solicitante servicio | Correo electrónico: | | Teléfono celular: | | | |
| Grupo GLIMA - UdeA | Laura Linares | laura.linares@udea.edu.co | | | | | |
| Dirección Física | NIT o Cédula | Correo electrónico para facturación: | | Teléfono fijo | | | |
| Calle 67 # 53 – 108 Ciudadela Universitaria | 890.980.040-8 | | | | | | |
| 3. NOTAS ACLARATORIAS | | | | | | | |
| 1- El Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares - GIEM está registrado como laboratorio de Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos ante el Instituto Colombiano Agropecuario ICA con el número de registro LB0000152021. | | | | | | | |
| 2- El presente reporte está basado en el análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el usuario. Los resultados sólo afectan al material suministrado y por lo tanto no avalan ninguna tecnología o producto comercial. | | | | | | | |
| 3- El usuario dispone de 10 días hábiles a partir de la recepción del resultado para hacer reclamos o solicitar repetición del ensayo "solo si aplica", el cual se hará sobre la submuestra seca y molida guardada por el laboratorio. Si el nuevo resultado corresponde al anterior, considerando la desviación estándar del método, el usuario asume nuevamente el costo del ensayo. | | | | | | | |
| 4- ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
| 4A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| CO | Carbono orgánico oxidable total | CRA | Capacidad de Retención de Humedad | CIC | Capacidad de Intercambio Catiónico | CIC/CO | CIC en términos de CO |
| U pH | Unidades de pH | ml | mililitros | ND | No Detectado | NC | No cuantificable |
| SD | Desviación estándar | C/N | Carbono/Nitrógeno | g | gramos | meq | miliequivalentes |
| ds/m | Decisimetros/metro | C.E. | Conductividad eléctrica | cm3 | Centímetro cubico | LD | Límite de detección |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | N-NH3 | Nitrógeno amoniacal | N-Org. total | Nitrógeno orgánico total | AOAC | Association of Official Analytical Chemists |
| CAH | Carbono de ácidos húmicos | CAF | Carbono de ácidos fúlvicos | CEHT | Carbono del extracto húmico total | % | Porcentaje |
| ST | Sólidos totales | SF | Sólidos fijos | SV | Sólidos volátiles | MAR | Mineralización en agua regia |
| FDN | Fibra detergente neutra | FDA | Fibra detergente ácida | LDA | Lignina detergente ácida | Hem | Hemicelulosa |
| Cel | Celulosa | Lig | Lignina | | | | |

-Fin de la hoja-



| | | |
|---|---|--|
|  UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>1826</small> | REPORTE DE RESULTADOS |  GEM <small>Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</small> |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 19/12/2023 |

| 4B - RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS | | | | |
|--|-------------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| Parámetro | Expresado como | Método y/o extractante/Técnica/Norma | Resultado (base seca) | Unid. |
| Humedad | N.A | Calentamiento 100 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 64.1 | % |
| Cenizas | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 24.2 | % |
| Pérdida por volatilización | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 75.8 | % |
| CIC | N.A | Acetato de amonio pH 7.0/Volumetría/NTC 5167 | 49.5 | meq/100 g |
| CO | N.A | Oxidante/Titulométrica/NTC 5167 | 34.1 | % |
| CIC/CO | N.A | Cálculo matemático | 145.3 | meq/100 g CO |
| CRA | N.A | Pasta de saturación/Gravimetría/NTC 5167 | 147.2 | % |
| Densidad real | N.A | Muestra seca y molida/Gravimetría/NTC 5167 | 0.50 | g/cm ³ |
| pH | N.A | Pasta de saturación/Potenciometría/NTC 5167 | 5.17 | U pH |
| C.E | N.A | Solución 1:100/Potenciometría/NTC 5167 | 0.16 | dS/m |
| N-Org. total | N | Kjeldahl/ Titulométrica/NTC 370 | 1.76 | % |
| C/N | N.A | Cálculo matemático | 19.4 | - |
| Fósforo total | P ₂ O ₅ | MAR /Espectrofotometría/NTC 234 | 0.102 | % |

| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  <p>Universidad de Antioquia GEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</p> |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 19/12/2023 |

| 5- ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------------|----------|---|
| 5A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| A.A. | Absorción Atómica | ND | No Detectado | NC | No cuantificable | ppm | partes por millón (mg/kg) |
| EC | Electroforesis capilar | LD | Límite de detección | LC | Límite de cuantificación | % | Porcentaje |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | MAR | Mineralización agua regia | MAO | Mineralizaciones agentes oxidantes | C.P.R.AG | Composición Porcentual Relativa del Ácido Graso |
| C.G | Cromatografía Gaseosa | | | | | | |



| 5B -RESULTADOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTALES | | | | |
|---|------------------|---------------------------|-----------|-------|
| Parámetro | Expresado como | Extractante/Técnica/Norma | Resultado | Unid. |
| Sodio total | Na | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.0521 | % |
| Zinc total | Zn | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.00499 | % |
| Potasio total | K ₂ O | MAR/A.A/NTC 5167 | 1.075 | % |
| Calcio total | CaO | MAR/A.A/NTC 5167 | 1.262 | % |
| Magnesio total | MgO | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.615 | % |

| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1823</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 19/12/2023 |

6-ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

| 6A- CONVENCIONES PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------|---------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| ufc | unidades formadoras de colonias. | NMP | número más probable | g | gramo | - | - | - | - |

| 6B -RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|---|
| NMP Coliformes totales / 100 g | NMP Coliformes fecales / 100 g | Huevos de Helminthos viables / 4 g | Salmonella / 25 g | |
| >2400 | >2400 | 0 | Ausente | - |



| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  <p>Universidad de Antioquia GEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</p> |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 19/12/2023 |

| 7-ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 7A- CONVENCIONES PARA ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| P/V | Peso/Volumen | Mta | Muestra | N.A | No aplica | mg | miligramos | g | gramos |

| 7B-ENSAYOS FITOTÓXICOS | | |
|--|---|---------------|
| Evaluación de la fracción hidrosoluble sobre el modelo biológico- Raphanus sativus | | |
| Concentración (% P/V) | Número de semillas germinadas de un total de 20 | % Germinación |
| Control | 18 | 90 |
| 10.0 | 18 | 90 |

| 7C-ENSAYOS RESPIROMETRICOS | | | | |
|----------------------------|----------------|--|-----------|-------------------------|
| Parámetro | Expresado como | Modelo/Técnica/Norma | Resultado | Unidades |
| Respirometría 24 horas | N.A | Producción de CO ₂ /Titulométrica/Método GIEM | 2.74 | mg (CO ₂)/g |

A continuación, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico de laboratorio aplicado a las muestras finales del abono obtenido en las pacas de control:

| | | |
|---|---|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLOGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | |

| 1-DESCRIPCION FISICA DE LA MUESTRA | | CODIGO INTERNO: 21feb2404 | | |
|--|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Fecha de toma de muestra: | Responsable muestreo: | Fecha recibe - GIEM | Responsable Recibe: | |
| 21/02/2024 | Cliente o usuario | 21/02/2024 | Coordinador Tecnico y de Servicios | |
| Rotulado | Tipo de Muestra | Color | Estado | Textura/Aspecto |
| Compost proyecto Giro Sostenible (Abono control) | Abono | Cafe | Solida | Heterogénea |

| 2. INFORMACIÓN SOBRE EL USUARIO | | | |
|---|-----------------------------|---|--------------------------|
| Nombre Usuario o Empresa | Solicitante servicio | Correo electrónico: | Teléfono celular: |
| Grupo GLIMA - UdeA | Laura Linares | laura.linares@udea.edu.co | |
| Dirección Física | NIT o Cédula | Correo electrónico para facturación: | Teléfono fijo |
| Calle 67 # 53 – 108 Ciudadela Universitaria | 890.980.040-8 | | |



3. NOTAS ACLARATORIAS

1- El Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares - GIEM está registrado como laboratorio de Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos ante el Instituto Colombiano Agropecuario ICA con el número de registro LB0000152021.



2- El presente reporte está basado en el análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el usuario. Los resultados sólo afectan al material suministrado y por lo tanto no avalan ninguna tecnología o producto comercial.

3- El usuario dispone de 10 días hábiles a partir de la recepción del resultado para hacer reclamos o solicitar repetición del ensayo "solo si aplica", el cual se hará sobre la submuestra seca y molida guardada por el laboratorio. Si el nuevo resultado corresponde al anterior, considerando la desviación estándar del método, el usuario asume nuevamente el costo del ensayo.

| 4- ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|--------|---|
| 4A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| CO | Carbono orgánico oxidable total | CRA | Capacidad de Retención de Humedad | CIC | Capacidad de Intercambio Catiónico | CIC/CO | CIC en términos de CO |
| U pH | Unidades de pH | ml | mililitros | ND | No Detectado | NC | No cuantificable |
| SD | Desviación estándar | C/N | Carbono/Nitrógeno | g | gramos | meq | millequivalentes |
| dS/m | Decisimens/metro | C.E. | Conductividad eléctrica | cm3 | Centímetro cubico | LD | Límite de detección |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | N-NH3 | Nitrógeno amoniacal | N-Org. total | Nitrógeno orgánico total | AOAC | Association of Official Analytical Chemists |
| CAH | Carbono de ácidos húmicos | CAF | Carbono de ácidos fúlvicos | CEHT | Carbono del extracto húmico total | % | Porcentaje |
| ST | Sólidos totales | SF | Sólidos fijos | SV | Sólidos volátiles | MAR | Mineralización en agua regia |
| FDN | Fibra detergente neutra | FDA | Fibra detergente ácida | LDA | Lignina detergente ácida | Hem | Hemicelulosa |
| Cel | Celulosa | Lig | Lignina | | | | |



| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1823</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 4B -RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS | | | | |
|---|-------------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| Parámetro | Expresado como | Método y/o extractante/Técnica/Norma | Resultado (base seca) | Unid. |
| Humedad | N.A | Calentamiento 100 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 46.8 | % |
| Cenizas | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 37.1 | % |
| Pérdida por volatilización | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 62.9 | % |
| CIC | N.A | Acetato de amonio pH 7.0/Volumetría/NTC 5167 | 77.5 | meq/100 g |
| CO | N.A | Oxidante/Titulométrica/NTC 5167 | 23.2 | % |
| CIC/CO | N.A | Cálculo matemático | 333 | meq/100 g CO |
| CRA | N.A | Pasta de saturación/Gravimetría/NTC 5167 | 120.7 | % |
| Densidad real | N.A | Muestra seca y molida/Gravimetría/NTC 5167 | 0.54 | g/cm ³ |
| pH | N.A | Pasta de saturación/Potenciometría/NTC 5167 | 6.65 | U pH |
| C.E | N.A | Solución 1:100/Potenciometría/NTC 5167 | 0.14 | dS/m |
| N-Org. total | N | Kjeldahl/ Titulométrica/NTC 370 | 2.32 | % |
| C/N | N.A | Cálculo matemático | 10.0 | - |
| Fósforo total | P ₂ O ₅ | MAR /Espectrofotometría/NTC 234 | 0.63 | % |

| | | |
|---|--|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 5- ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------------|----------|---|
| 5A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| A.A. | Absorción Atómica | ND | No Detectado | NC | No cuantificable | ppm | partes por millón (mg/kg) |
| EC | Electroforesis capilar | LD | Límite de detección | LC | Límite de cuantificación | % | Porcentaje |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | MAR | Mineralización agua regia | MAO | Mineralizaciones agentes oxidantes | C.P.R.AG | Composición Porcentual Relativa del Ácido Graso |
| C.G | Cromatografía Gaseosa | | | | | | |

| 5B -RESULTADOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTALES | | | | |
|---|------------------|---------------------------|-----------|-------|
| Parámetro | Expresado como | Extractante/Técnica/Norma | Resultado | Unid. |
| Sodio total | Na | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.0624 | % |
| Zinc total | Zn | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.01269 | % |
| Potasio total | K ₂ O | MAR/A.A/NTC 5167 | 1.267 | % |
| Calcio total | CaO | MAR/A.A/NTC 5167 | 2.74 | % |
| Magnesio total | MgO | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.672 | % |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 6-ANALISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------|---------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 6A- CONVENCIONES PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| ufc | unidades formadoras de colonias. | NMP | número más probable | g | gramo | - | - | - | - |

| 6B -RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---|
| NMP Coliformes totales / 100 g | NMP Coliformes fecales / 100 g | Huevos de Helmintos viables / 4 g | Salmonella / 25 g | - |
| >2400 | >2400 | 0 | Ausente | - |



| | | |
|---|---|---|
|  UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1826 | REPORTE DE RESULTADOS |  Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |
| | CORPORACION DE PATOLOGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | |

| 7-ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 7A- CONVENCIONES PARA ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| P/V | Peso/Volumen | Mta | Muestra | N.A | No aplica | mg | miligramos | g | gramos |

| 7B-ENSAYOS FITOTÓXICOS | | |
|--|---|---------------|
| Evaluación de la fracción hidrosoluble sobre el modelo biológico- Raphanus sativus | | |
| Concentración (% P/V) | Número de semillas germinadas de un total de 20 | % Germinación |
| Control | 17 | 100 |
| 10.0 | 15 | 88.2 |

| 7C-ENSAYOS RESPIROMETRICOS | | | | |
|----------------------------|----------------|--|-----------|-------------------------|
| Parámetro | Expresado como | Modelo/Técnica/Norma | Resultado | Unidades |
| Respirometría 24 horas | N.A | Producción de CO ₂ /Titulométrica/Método GIEM | 1.33 | mg (CO ₂)/g |

A continuación, se muestran los resultados del análisis físicoquímico de laboratorio aplicado a las muestras finales del abono obtenido en las pacas con enmienda:

| | | |
|---|--|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | |

| | | | |
|---|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1-DESCRIPCION FISICA DE LA MUESTRA | | CODIGO INTERNO: 21feb2406 | |
| Fecha de toma de muestra: | Responsable muestreo: | Fecha recibe - GIEM | Responsable Recibe: |

| | | | |
|---|------------------------|--------------|------------------------------------|
| 21/02/2024 | Cliente o usuario | 21/02/2024 | Coordinador Tecnico y de Servicios |
| Rotulado | Tipo de Muestra | Color | Estado |
| Compost proyecto Giro Sostenible (Abono Harina de Roca) | Abono | Cafe | Solida |
| | | | Heterogénea |

2. INFORMACIÓN SOBRE EL USUARIO

| | | | |
|---|-----------------------------|---|--------------------------|
| Nombre Usuario o Empresa | Solicitante servicio | Correo electrónico: | Teléfono celular: |
| Grupo GLIMA - UdeA | Laura Linares | laura.linares@udea.edu.co | |
| Dirección Física | NIT o Cédula | Correo electrónico para facturación: | Teléfono fijo |
| Calle 67 # 53 – 108 Ciudadela Universitaria | 890.980.040-8 | | |



3. NOTAS ACLARATORIAS

- 1- El Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares - GIEM está registrado como laboratorio de Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos ante el Instituto Colombiano Agropecuario ICA con el número de registro LB0000152021.
- 2- El presente reporte está basado en el análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el usuario. Los resultados sólo afectan al material suministrado y por lo tanto no avalan ninguna tecnología o producto comercial.
- 3- El usuario dispone de 10 días hábiles a partir de la recepción del resultado para hacer reclamos o solicitar repetición del ensayo "solo si aplica", el cual se hará sobre la submuestra seca y molida guardada por el laboratorio. Si el nuevo resultado corresponde al anterior, considerando la desviación estándar del método, el usuario asume nuevamente el costo del ensayo.



4- ANALISIS FISICOQUIMICOS

| 4A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|--------|--|
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| CO | Carbono orgánico oxidable total | CRA | Capacidad de Retención de Humedad | CIC | Capacidad de Intercambio Catiónico | CIC/CO | CIC en términos de CO |
| U pH | Unidades de pH | ml | mililitros | ND | No Detectado | NC | No cuantificable |
| SD | Desviación estándar | C/N | Carbono/Nitrógeno | g | gramos | meq | millequivalentes |
| dS/m | Decisimenes/metro | C.E. | Conductividad eléctrica | cm3 | Centímetro cubico | LD | Límite de detección |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | N-NH3 | Nitrógeno amoniacal | N-Org. total | Nitrógeno orgánico total | AOAC | Association of Oficial Analytical Chemists |
| CAH | Carbono de ácidos húmicos | CAF | Carbono de ácidos fúlvicos | CEHT | Carbono del extracto húmico total | % | Porcentaje |
| ST | Sólidos totales | SF | Sólidos fijos | SV | Sólidos volátiles | MAR | Mineralización en agua regia |
| FDN | Fibra detergente neutra | FDA | Fibra detergente ácida | LDA | Lignina detergente ácida | Hem | Hemicelulosa |
| Cel | Celulosa | Lig | Lignina | | | | |

-Fin de la hoja-



| | | |
|--|---|---|
|  UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1823 | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 4B -RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS | | | | |
|---|-------------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| Parámetro | Expresado como | Método y/o extractante/Técnica/Norma | Resultado (base seca) | Unid. |
| Humedad | N.A | Calentamiento 100 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 30.0 | % |
| Cenizas | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 62.4 | % |
| Pérdida por volatilización | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 37.6 | % |
| CIC | N.A | Acetato de amonio pH 7.0/Volumetría/NTC 5167 | 61.8 | meq/100 g |
| CO | N.A | Oxidante/Titulométrica/NTC 5167 | 17.4 | % |
| CIC/CO | N.A | Cálculo matemático | 356 | meq/100 g CO |
| CRA | N.A | Pasta de saturación/Gravimetría/NTC 5167 | 77.3 | % |
| Densidad real | N.A | Muestra seca y molida/Gravimetría/NTC 5167 | 0.80 | g/cm ³ |
| pH | N.A | Pasta de saturación/Potenciometría/NTC 5167 | 6.57 | U pH |
| C.E | N.A | Solución 1:100/Potenciometría/NTC 5167 | 0.11 | dS/m |
| N-Org. total | N | Kjeldahl/ Titulométrica/NTC 370 | 1.38 | % |
| C/N | N.A | Cálculo matemático | 12.6 | - |
| Fósforo total | P ₂ O ₅ | MAR /Espectrofotometría/NTC 234 | 6.495 | % |

| | | |
|---|--|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | |

| 5- ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------------|----------|---|
| 5A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| A.A. | Absorción Atómica | ND | No Detectado | NC | No cuantificable | ppm | partes por millón (mg/kg) |
| EC | Electroforesis capilar | LD | Límite de detección | LC | Límite de cuantificación | % | Porcentaje |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | MAR | Mineralización agua regia | MAO | Mineralizaciones agentes oxidantes | C.P.R.AG | Composición Porcentual Relativa del Ácido Graso |
| C.G | Cromatografía Gaseosa | | | | | | |



| 5B -RESULTADOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTALES | | | | |
|---|------------------|---------------------------|-----------|-------|
| Parámetro | Expresado como | Extractante/Técnica/Norma | Resultado | Unid. |
| Sodio total | Na | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.0790 | % |
| Zinc total | Zn | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.01488 | % |
| Potasio total | K ₂ O | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.672 | % |
| Calcio total | CaO | MAR/A.A/NTC 5167 | 11.4 | % |
| Magnesio total | MgO | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.728 | % |

| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1823</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

6-ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

| 6A- CONVENCIONES PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------|---------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| ufc | unidades formadoras de colonias. | NMP | número más probable | g | gramo | - | - | - | - |

| 6B -RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|---|
| NMP Coliformes totales / 100 g | NMP Coliformes fecales / 100 g | Huevos de Helminthos viables / 4 g | Salmonella / 25 g | |
| >2400 | >2400 | 0 | Ausente | - |



| | | |
|---|--|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 7-ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 7A- CONVENCIONES PARA ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| P/V | Peso/Volumen | Mta | Muestra | N.A | No aplica | mg | miligramos | g | gramos |

| 7B-ENSAYOS FITOTÓXICOS | | |
|--|---|---------------|
| Evaluación de la fracción hidrosoluble sobre el modelo biológico- Raphanus sativus | | |
| Concentración (% P/V) | Número de semillas germinadas de un total de 20 | % Germinación |
| Control | 17 | 100 |
| 10.0 | 17 | 100 |

| 7C-ENSAYOS RESPIROMETRICOS | | | | |
|----------------------------|----------------|--|-----------|-------------------------|
| Parámetro | Expresado como | Modelo/Técnica/Norma | Resultado | Unidades |
| Respirometría 24 horas | N.A | Producción de CO ₂ /Titulométrica/Método GIEM | 2.32 | mg (CO ₂)/g |

A continuación, se muestran los resultados del análisis físicoquímico de laboratorio aplicado a las muestras finales del abono obtenido en las pacas inoculadas:

| | | |
|---|--|---|
|  | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 1-DESCRIPCION FISICA DE LA MUESTRA | | CODIGO INTERNO: 21feb2405 | |
|--|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Fecha de toma de muestra: | Responsable muestreo: | Fecha recibe - GIEM | Responsable Recibe: |
| 21/02/2024 | Cliente o usuario | 21/02/2024 | Coordinador Tecnico y de Servicios |
| Rotulado | Tipo de Muestra | Color | Estado |
| Compost proyecto Giro Sostenible (Abono Abono) | Abono | Cafe | Solida |
| | | | Heterogénea |

| 2. INFORMACIÓN SOBRE EL USUARIO | | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Nombre Usuario o Empresa | Solicitante servicio | Correo electrónico: | Teléfono celular: |
| Grupo GLIMA - UdeA | Laura Linares | laura.linares@udea.edu.co | |
| Dirección Física | NIT o Cédula | Correo electrónico para facturación: | Teléfono fijo |
| Calle 67 # 53 – 108 Ciudadela Universitaria | 890.980.040-8 | | |

3. NOTAS ACLARATORIAS



1- El Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares - GIEM está registrado como laboratorio de Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y/o reguladores fisiológicos ante el Instituto Colombiano Agropecuario ICA con el número de registro LB0000152021.

2- El presente reporte está basado en el análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el usuario. Los resultados sólo afectan al material suministrado y por lo tanto no avalan ninguna tecnología o producto comercial.



3- El usuario dispone de 10 días hábiles a partir de la recepción del resultado para hacer reclamos o solicitar repetición del ensayo "solo si aplica", el cual se hará sobre la submuestra seca y molida guardada por el laboratorio. Si el nuevo resultado corresponde al anterior, considerando la desviación estándar del método, el usuario asume nuevamente el costo del ensayo.

| 4- ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|--------|---|
| 4A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| CO | Carbono orgánico oxidable total | CRA | Capacidad de Retención de Humedad | CIC | Capacidad de Intercambio Catiónico | CIC/CO | CIC en términos de CO |
| U pH | Unidades de pH | ml | mililitros | ND | No Detectado | NC | No cuantificable |
| SD | Desviación estándar | C/N | Carbono/Nitrógeno | g | gramos | meq | miliequivalentes |
| dS/m | Decisimens/metro | C.E. | Conductividad eléctrica | cm3 | Centímetro cubico | LD | Límite de detección |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | N-NH3 | Nitrógeno amoniacal | N-Org. total | Nitrógeno orgánico total | AOAC | Association of Official Analytical Chemists |
| CAH | Carbono de ácidos húmicos | CAF | Carbono de ácidos fúlvicos | CEHT | Carbono del extracto húmico total | % | Porcentaje |
| ST | Sólidos totales | SF | Sólidos fijos | SV | Sólidos volátiles | MAR | Mineralización en agua regia |
| FDN | Fibra detergente neutra | FDA | Fibra detergente ácida | LDA | Lignina detergente ácida | Hem | Hemicelulosa |
| Cel | Celulosa | Lig | Lignina | | | | |

-Fin de la hoja-



| | | |
|---|---|---|
|  UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>1826</small> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 4B -RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS | | | | |
|---|-------------------------------|--|-----------------------|-------------------|
| Parámetro | Expresado como | Método y/o extractante/Técnica/Norma | Resultado (base seca) | Unid. |
| Humedad | N.A | Calentamiento 100 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 30.8 | % |
| Cenizas | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 52.3 | % |
| Pérdida por volatilización | N.A | Calcinación a 650 °C/Gravimetría/NTC 5167 | 47.7 | % |
| CIC | N.A | Acetato de amonio pH 7.0/Volumetría/NTC 5167 | 60.6 | meq/100 g |
| CO | N.A | Oxidante/Titulométrica/NTC 5167 | 19.6 | % |
| CIC/CO | N.A | Cálculo matemático | 310 | meq/100 g CO |
| CRA | N.A | Pasta de saturación/Gravimetría/NTC 5167 | 118.1 | % |
| Densidad real | N.A | Muestra seca y molida/Gravimetría/NTC 5167 | 0.61 | g/cm ³ |
| pH | N.A | Pasta de saturación/Potenciometría/NTC 5167 | 6.36 | U pH |
| C.E | N.A | Solución 1:100/Potenciometría/NTC 5167 | 0.07 | dS/m |
| N-Org. total | N | Kjeldahl/ Titulométrica/NTC 370 | 1.95 | % |
| C/N | N.A | Cálculo matemático | 10.0 | - |
| Fósforo total | P ₂ O ₅ | MAR /Espectrofotometría/NTC 234 | 0.994 | % |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  <p>Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</p> |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

| 5- ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
|---|--------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------------|----------|---|
| 5A- CONVENCIONES PARA LOS ANALISIS INSTRUMENTALES | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| A.A. | Absorción Atómica | ND | No Detectado | NC | No cuantificable | ppm | partes por millón (mg/kg) |
| EC | Electroforesis capilar | LD | Límite de detección | LC | Límite de cuantificación | % | Porcentaje |
| NTC | Norma Técnica Colombiana | MAR | Mineralización agua regia | MAO | Mineralizaciones agentes oxidantes | C.P.R.AG | Composición Porcentual Relativa del Ácido Graso |
| C.G | Cromatografía Gaseosa | | | | | | |



| 5B -RESULTADOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTALES | | | | |
|---|------------------|---------------------------|-----------|-------|
| Parámetro | Expresado como | Extractante/Técnica/Norma | Resultado | Unid. |
| Sodio total | Na | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.02758 | % |
| Zinc total | Zn | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.0107 | % |
| Potasio total | K ₂ O | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.858 | % |
| Calcio total | CaO | MAR/A.A/NTC 5167 | 2.8 | % |
| Magnesio total | MgO | MAR/A.A/NTC 5167 | 0.534 | % |

| | | |
|--|--|---|
|  <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1826</p> | REPORTE DE RESULTADOS |  |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |

6-ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

| 6A- CONVENCIONES PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------|---------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| ufc | unidades formadoras de colonias. | NMP | número más probable | g | gramo | - | - | - | - |

| 6B -RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|---|
| NMP Coliformes totales / 100 g | NMP Coliformes fecales / 100 g | Huevos de Helminthos viables / 4 g | Salmonella / 25 g | |
| >2400 | >2400 | 0 | Ausente | - |

| | | |
|---|--|---|
|  UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA | REPORTE DE RESULTADOS |  Fecha inicio de elaboración reporte de resultados 04/04/2024 |
| | CORPORACION DE PATOLGIAS TROPICALES "PT" GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES – GIEM Registro ICA N° LB0000152021. | |

| 7-ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 7A- CONVENCIONES PARA ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMETRICOS | | | | | | | | | |
| Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado | Conv | Significado |
| P/V | Peso/Volumen | Mta | Muestra | N.A | No aplica | mg | miligramos | g | gramos |

| 7B-ENSAYOS FITOTÓXICOS | | |
|--|---|---------------|
| Evaluación de la fracción hidrosoluble sobre el modelo biológico- Raphanus sativus | | |
| Concentración (% P/V) | Número de semillas germinadas de un total de 20 | % Germinación |
| Control | 17 | 100 |
| 10.0 | 16 | 94.1 |

| 7C-ENSAYOS RESPIROMETRICOS | | | | |
|----------------------------|----------------|--|-----------|-------------------------|
| Parámetro | Expresado como | Modelo/Técnica/Norma | Resultado | Unidades |
| Respirometría 24 horas | N.A | Producción de CO ₂ /Titulométrica/Método GIEM | 1.98 | mg (CO ₂)/g |

Anexo 6. Datos meteorológicos para la ciudad de Medellín durante el periodo de monitoreo

