

## IMPLEMENTACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN PACAS DIGESTORAS.

### BIOTECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION IN DIGESTER BALES.

Perez Loaiza, Jhon Edison<sup>1</sup>; Becerra Becerra, Erika Lorena<sup>2</sup>; Molano Cabrejo, Miguel Fernando<sup>3</sup>; Palacio Gómez, Carlos Andres<sup>4</sup>; Salamanca, Ana Roció<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>[jperez26@uan.edu.co](mailto:jperez26@uan.edu.co); <sup>2</sup>[ebecerra84@uan.edu.co](mailto:ebecerra84@uan.edu.co); <sup>3</sup>[mmolano24@uan.edu.co](mailto:mmolano24@uan.edu.co); <sup>4</sup>[carlospalacio@uan.edu.co](mailto:carlospalacio@uan.edu.co); <sup>5</sup>[asalamanca96@uan.edu.co](mailto:asalamanca96@uan.edu.co)

Universidad Antonio Nariño, Colombia

**Resumen:** Este trabajo de investigación abordó el estudio de construcción de las pacas biodigestoras convencionales, y su caracterización; en donde, se pudo identificar largos tiempos de procesamiento de la materia orgánica que van de 10 a 12 meses. Esto nos llevó a plantear la implementación de una estrategia biotecnológica, que optimizara el proceso de pacas digestoras en cuanto a tiempos y producto final; para lo cual se empleó una mezcla de microorganismos especializados en descomposición de materia orgánica de diferentes fuentes. Logrando disminuir los tiempos de obtención del abono orgánico a 4 meses, mejorando la fijación de hierro y otros metales esenciales para la nutrición de las plantas, ya que las cenizas indica la cantidad de minerales que fueron fijados exitosamente en el proceso de degradación de la materia orgánica, pensando en esto, el tratamiento biotecnológico es el más eficiente en la fijación de minerales inorgánicos al suelo con un valor de cenizas de 29.29%, lo que permite que presenten mayor disponibilidad para la nutrición de las plantas; este resultado, es complementado con el bajo valor de pérdidas por volatilización 70,71% que indica que el proceso biotecnológico aumenta la disponibilidad de micronutrientes en su forma inorgánica. Adicionalmente, se destaca la ausencia de microorganismos patógenos en el producto final.

El método de fluorescencia de Rayos-X, resultó ser adecuado para la identificación de los metales de interés (Na, K, Ca, Fe, Zn); puesto que, al medir las energías de los electrones de los niveles atómicos más bajos de los elementos químicos, dado que sus energías son únicas para cada átomo de la tabla periódica, permite identificarlos con alta precisión. Al relacionar los resultados obtenidos con el método convencional absorción atómica, podemos ver que las relaciones porcentuales están muy cercanas; y las posibles diferencias se atribuyen a que no se implementó un método de cuantificación por curva de calibración en el método de fluorescencia. Pero, se sugiere que se siga investigando la implementación de este método con este enfoque, ya que de ser posible cuantificar por el método de fluorescencia se estaría aportando un método de bajo costo, de corto tiempo de análisis; que representaría un ahorro en costos para los agricultores.

**Palabras claves:** paca biodigestora, agentes patógenos, fluorescencia de Rayos-X, espectroscopia de absorción atómica, micronutrientes, macronutrientes.

**Abstract:** This research work addressed the study of construction of conventional biodigester bales, and their characterization; where, I can identify long processing times for organic matter that range from 10 to 12 months. This led us to propose the implementation of a biotechnological strategy, which would optimize the digester bale process in terms of time and final product; for which a mixture of microorganisms specialized in the decomposition of organic matter from different sources was used. Managing to reduce the times of obtaining the organic fertilizer to 4 months, improving the fixation of iron and other essential metals for the nutrition of the plants, since the ashes indicate the amount of minerals that were successfully fixed in the process of degradation of the matter. organic, with this in mind, the most efficient biotechnological treatment in fixing inorganic minerals to the soil with an ash value of 29.29%, which allows them to be more available for plant nutrition; This result is complemented by the low

value of losses by volatilization 70.71%, which indicates that the biotechnological process increases the availability of micronutrients in their inorganic form. Additionally, the absence of pathogenic microorganisms in the final product stands out.

The X-ray fluorescence method turned out to be adequate for the identification of the metals of interest (Na, K, Ca, Fe, Zn); since, when measuring the energies of the electrons of the lowest atomic levels of the chemical elements, given that energies are unique for each atom in the periodic table, it allows to identify them with high pressure. When relating the results obtained with the conventional atomic absorption method, we can see that the percentage relationships are very close; and the possible differences are attributed to the fact that a quantification method by calibration curve was not implemented in the fluorescence method. However, it is suggested that the implementation of this method with this approach continue to be investigated, since if it is possible to quantify by the fluorescence method, a low-cost method with a short analysis time would be provided; which would represent cost savings for farmers.

**Key words:** biodigester bale, pathogens, X-ray fluorescence, atomic absorption spectroscopy, micronutrients, macronutrients.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las problemáticas globales son las altas emisiones de carbono a la atmosfera, según diversas organizaciones como la OMS, FAO y la organización mundial del medio ambiente; estas han indicado como reto de la década promover métodos eficientes para secuestrar carbono atmosférico. En torno a este reto, han surgido diferentes alternativas, pero una de las más asombrosas es aprovechar la capacidad que tiene el suelo para captar el carbono y contribuir a las prácticas como la agricultura regenerativa [1].

El suelo posee un enorme potencial para secuestrar carbono hasta 1500 PgC (Petagramos de carbono), cada Petagramo de carbono equivalen a una gigatonelada de carbono o lo que es igual a mil millones de toneladas. En la actualidad, en la atmósfera tenemos unos 750 PgC en emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas cifras hablan por sí solas, el suelo está en condición de secuestrar el carbono atmosférico, pero esto no es todo; qué tal, si se transforma todo ese carbono perjudicial en comida de mayor calidad con un alto contenido nutricional, con una baja o escasa necesidad de agroquímicos y con una reducción del 40% en la demanda de agua para la producción agrícola [2]-[4].

Todo esto es posible según los movimientos emergentes como la agricultura regenerativa, el suelo es el sostén de la vida en el planeta, ya hemos visto cuales son los efectos de los suelos degradados [5]. Que al final se terminan convirtiendo en suelos estériles, donde la vida no prospera. Esto se debe a que el suelo a perdido algo muy importante y es la materia orgánica, fundamental para que se den los procesos de nutrición de las plantas y no solo eso; un suelo con un alto contenido de materia orgánica es capaz de retener un 40% más de agua que un suelo que carece de la misma [6].

En otras palabras, todo lo que necesitan las plantas está disponible para su crecimiento y desarrollo en un suelo con alto contenido de materia orgánica, la vegetación bien nutrida e hidratada es más productiva y resistente a las plagas, además de mejorar la calidad nutricional de los alimentos [7]. Un suelo sano promueve un ecosistema sinérgico, que permite una autorregulación de plagas, lo que se traduce en una disminución en el uso de pesticidas que terminan contaminado los alimentos, generando enfermedades gastro intestinales y cáncer en los consumidores [8].

Por otra parte, al tratar los residuos orgánicos (RO) generados por las personas, se puede reducir significativamente los gastos de disposición en rellenos sanitarios. Puesto que, tienen elevados costos desde la recolección, transporte y disposición final, además no contribuyen con ningún valor agregado en la cadena de producción. Mientras que al implementar alternativas como las pacas digestoras, se

podría reducir costos en la recolección y transporte, obteniendo abono orgánico con valor agregado a la cadena de producción alimentaria.

Este trabajo, se realizó con el objetivo de atender una problemática que aqueja a la comunidad boyacense; referente a la escasa infraestructura para la disposición de residuos sólidos. Actualmente, Boyacá sólo cuenta con el Relleno Sanitario Parque Ecológico y Tecnológico de Pírgua ubicado en la ciudad de Tunja, para atender la demanda de 123 municipios que aportan más de 13500 toneladas al mes según datos operativos de URBASER [9]; donde aproximadamente un 40% de los residuos son de materia orgánica, que pueden ser tratados en los municipios directamente, representando múltiples beneficios para la comunidad.

En esta investigación, se trabajó con los residuos orgánicos generados en el municipio de Iza-Boyacá y la empresa RADS-Colombia. Se obtuvieron varios hallazgos interesantes en el proceso, el municipio no cuenta con un sistema de gestión de residuos orgánicos propio; lo que incrementa los costos de disposición final para el ente territorial. Se logró identificar que en Iza se generan 66 toneladas de materia orgánica por año; que de ser tratadas en la fuente en un espacio de 110 m<sup>2</sup>, genera un ahorro de veintiuno millones ochocientos mil pesos (\$21.800.000) por año aproximadamente.

Por otra parte, se identificó que las pacas digestoras son un proceso empírico efectivo para el tratamiento de residuos orgánicos sin generar olores, focos de contaminación y no requieren del proceso de volteo como en el compostaje tradicional; pero requieren de un largo tiempo (10 meses), para obtener el abono final. Esto representa un elevado costo para empresas como RADS-Colombia puesto que, es necesario un espacio para mantener las pacas y los ingresos derivados de esta actividad se perciben 10 meses después. Implementando la incorporación de microorganismos especializados en la digestión de material orgánico, se logró reducir el tiempo de 10 a 4 meses lo que permite a empresas que se dedican a esta actividad económica, percibir aproximadamente cuarenta y un millones de pesos (\$41.000.000) más de ingresos que con el método convencional.

Con este estudio, se puede concluir que el negocio de producción de abono orgánico para el departamento de Boyacá, que produce 13500 toneladas de residuos sólido donde un 40% corresponden a materia orgánica, puede representar ingresos mensuales superiores a los dos mil millones de pesos (\$2 000.000.000); generando 2160 toneladas de abono orgánico con macro y micro nutrientes óptimos, que contribuyen a las nuevas tendencias de agricultura regenerativa que se están adelantando a nivel mundial en países desarrollados como Alemania, España y Países Bajos entre otros [7].

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los Residuos Orgánicos representan una de las problemáticas territoriales más importantes en los planes de gestión ambiental de municipios y ciudades. Dado que su producción incrementa con rapidez año tras año, lo que ha generado un mayor auge, en el tratamiento de los mismos [10]. El manejo inadecuado de los residuos orgánicos puede desencadenar en problemas de salud pública y el deterioro del medio ambiente, por eso, se hace necesario, la aplicación de procesos que sean sostenibles para la gestión integral [11].

En la actualidad, es importante garantizar la seguridad alimentaria de los países, en especial aquellos en vía de desarrollo. La Organización Mundial de la Salud (OMS), identifica como problemática principal la escasez y desigualdad en la distribución de tierras cultivables fértiles a nivel mundial [12]. Colombia también contempla estas problemáticas en sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS), como son: hambre cero, producción y consumo responsable, acción por el clima y vida de ecosistemas terrestres [13]. Pero, el panorama Nacional es desalentador, puesto que se han comenzado a invadir zonas protegidas, como lo son: la selva amazónica, páramos y reservas forestales nativas; en los diferentes departamentos con el fin de obtener tierras cultivables fértiles. A esta problemática, se suma el

incremento en los precios de los agro insumos, lo que ha llevado a reducir la actividad agraria del país, por esto, se hace necesario generar nuevas estrategias para la obtención de sustratos que permita a pequeños y medianos productores, mejorar sus procesos productivos.

Actualmente, se conocen diversas metodologías para el tratamiento de los residuos orgánicos, como lo son: el compostaje o los biodigestores: que tienen como función llevar a cabo la descomposición biológica de la materia orgánica y la presencia de diferentes tipos de microorganismos, que son vitales en el ciclo de descomposición [14].

Hoy en día, en algunos lugares se aplica el proceso de las pacas biodigestoras siendo un sistema compacto, generando en su interior un estado fermentativo, evitando las maneras más comunes de obtener sustratos, a través de la materia orgánica como el volteo. De esta manera, se convierte en un método de compostaje limpio, que no genera lixiviados, ni olores, con una capacidad de procesamiento de hasta 700 kg de residuos. Pero por su gran capacidad se requieren períodos largos de 6 a 7 meses, para que la materia orgánica se descomponga y obtener el sustrato requerido (abono) [15].

De acuerdo a lo anterior, se plantea el siguiente interrogante: ¿Se puede tecnificar las pacas digestoras acelerando el proceso en un menor tiempo sin contrarrestar el sustrato obtenido al finalizar?

## JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación, se enmarca en la línea de investigación institucional referente a ingeniería de bioprocesos. Adicionalmente, impacta con los resultados obtenidos los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) planteados por el Gobierno Nacional como se expone a continuación:

TABLA I  
OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Objetivo de desarrollo sostenible	Metas del objetivo	Impacto de la investigación
2. Hambre cero	2.1 - Acceso Universal a Alimentos Seguros y Nutricionales	Con el desarrollo de esta investigación se aporta un abono orgánico, con bajo contenido de microorganismos patógenos y un óptimo contenido de macro y micronutrientes, esenciales para la producción de alimentos con alta calidad fitosanitaria y nutricional.
	2.3 - Duplicar la productividad y los ingresos de pequeños productores de alimentos	Con la implementación de esta investigación se genera un sustrato con óptimas calidades en micro y macronutrientes, aportando a los pequeños productores una nueva forma de agregar nutrientes al suelo, para mejorar su productividad.
	2.4 - Producción sostenible de alimentos y prácticas agrícolas resilientes	Con el desarrollo de esta investigación, se aporta una metodología para la obtención de sustratos que garanticen la productividad sostenible, manteniendo la diversidad genética de sus cultivos.
12. Producción y consumo responsable	12.2 - Gestión sostenible y uso de los recursos naturales	Con la implementación de esta investigación se da a conocer una alternativa para la gestión de residuos

Objetivo de desarrollo sostenible	Metas del objetivo	Impacto de la investigación
		orgánicos, de poda y descapote, de una manera eficiente con los recursos naturales.
	12.8 - Promover la comprensión universal de los estilos de vida sostenibles	El desarrollo de esta investigación ayuda a comprender una alternativa para la gestión de los residuos, dando a comprender una mejor manera garantizando un buen estilo de vida en armonía con la naturaleza.
13. Acción por el clima	13.3 - Construir conocimiento y capacidad para enfrentar los desafíos del cambio climático	Con el desarrollo de esta investigación, se puede generar sensibilización y crear conciencia de que es una metodología limpia para tratar los residuos orgánicos, ya que no emite gases que son transferidos a la atmósfera generando GEI, como es el caso del compostaje.
	15.1 - Conservar y Restaurar los Ecosistemas Terrestres y de Agua Dulce	Con la implementación de esta metodología para el tratamiento de residuos se obtiene un sustrato con buenas calidades, suministrándole estos nutrientes para restaurar y conservar la naturaleza.
15. Vida de ecosistemas terrestres	15.3 - Detener la desertificación y restaurar la tierra degradada	Gracias a este trabajo de investigación, se puede dar a conocer el proceso por el cual se puede obtener un sustrato con buenas características en macro y micronutrientes, capaces de aportarle estas propiedades a los suelos que han sido degradados, regenerándolos hasta el punto de ser productivos.

Fuente: Objetivos de desarrollo sostenible [13], [16].

Según el informe nacional de disposición final de residuos sólidos para el año 2020, se dispusieron en total 32580,96 Ton/día de residuos sólidos expuestos en el marco del servicio público de aseo del país, donde se obtuvo un aumento del 0.89 % en comparación al año 2019. En relación con la disposición final a nivel departamental, se destaca la capital y principales departamentos del país, por su número de habitantes y presentar un mayor incremento en las actividades comerciales (Bogotá D.C, Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia); adicional a esto se destaca también la reducción en la generación de residuos en algunos departamentos como los son: Guainía -22.03 %, San Andrés, Providencia y Santa Catalina - 11.18 %, Putumayo -10.19% y Boyacá con -9.60 % los cuales se pueden observar en la TABLA II, sobre la disposición final por departamentos [17].

TABLA II  
DISPOSICIÓN FINAL A NIVEL DEPARTAMENTAL.

Departamento	Promedio Ton/día 2019	Promedio Ton/día 2020
Bogotá D.C	6952.49	6287.85
Antioquia	3852.87	4421.48
Valle del Cauca	3846.24	3380.78

Departamento	Promedio Ton/día 2019	Promedio Ton/día 2020
Atlántico	2511.09	2580.5
Cundinamarca	1761.27	1885.08
Bolívar	1797.5	1716.53
Santander	1406.74	1416.32
Norte de Santander	977.43	1049.12
Magdalena	826.92	891.83
Tolima	762.62	806.71
Córdoba	673.77	792.64
Cesar	721.33	769.96
Risaralda	705.04	756.56
Nariño	676.14	679.61
Meta	615.27	669.8
Caldas	650.84	659.73
Huila	433.27	556.14
Sucre	406.22	497.98
Boyacá	541.94	489.93
Cauca	395.3	431.46
La Guajira	389.15	409.18
Quindío	354.38	385.1
Casanare	218.9	225.11
Choco	169.35	202.02
Caquetá	185.55	174.55
Arauca	132.87	146.88
Putumayo	150	134.72
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	74.63	66.28
Guaviare	41.06	40.58
Vichada	24.82	23.1
Guainía	25.63	19.99
Amazonas	7.34	7.72
Vaupés	5.55	5.74

Fuente: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios [17].

Una de las alternativas para reducir el costo de disposición final de los residuos sólidos orgánicos es la implementación y utilización para ser transformados como abono orgánico, el cual se plantea en este proyecto de grado a través de pacas biodigestoras, de esta manera se ve beneficiado el agro colombiano con nuevas técnicas agropecuarias, generando desarrollo rural, aportando conocimiento sobre un método biotecnológico para la degradación de los RSO, generando impactos a la calidad de vida de las poblaciones, generar un método para la comunidad rural y agropecuaria para la obtención de sustratos con alto contenido nutricional para el suelo, mejorando sus cultivos de una manera innovadora y económica sustituyendo el uso de agro insumos.

## MARCO REFERENCIAL

### El suelo

El suelo es una estructura compleja que consta de materiales minerales, materia orgánica, organismos vivos, agua y aire [18]. Además, el suelo no es una estructura continua, sino que atraviesa diferentes capas o niveles. Es un sistema abierto y dinámico que consta de tres fases. La fase sólida está formada por componentes inorgánicos y orgánicos, dejando vacíos (poros, cámaras, grietas, etc.), en el que se encuentran la fase líquida y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono). El volumen de los poros está ocupado principalmente por agua, capaz de transportar iones y sustancias en solución o suspensión, a través del aire, las raíces de las plantas y los organismos del suelo. Todos estos elementos le confieren propiedades físicas y químicas [19].

Podemos hablar de la evolución del suelo, es decir, de los cambios en sus propiedades en función del clima, la presencia de animales, plantas y actividades humanas. Por tanto, el suelo natural tiene un proceso de evolución lento, muy diferente al de la tierra cultivada.

Por ello, una correcta gestión del suelo es fundamental para conservar su fertilidad, conseguir mejores resultados y respetar el medio ambiente. [20].

### Horizontes del suelo

Los horizontes se refieren a cada capa de suelo que contiene diferentes propiedades debido a la composición mineral, la cantidad de materia orgánica, el grado de descomposición de las rocas, la distribución del tamaño de las partículas, etc.

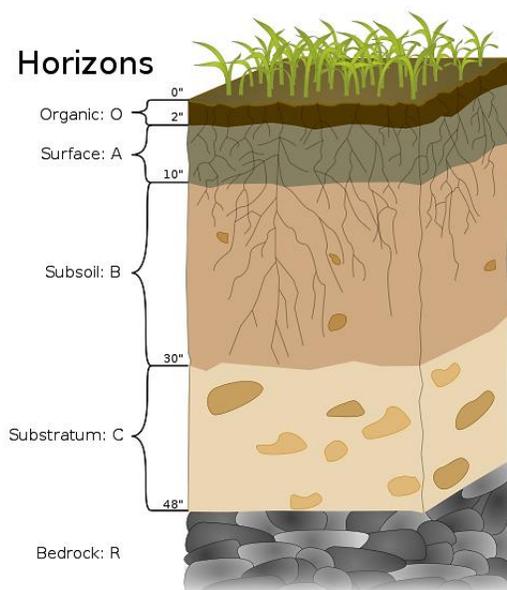


Fig. 1. Horizontes del suelo [18]

- Horizonte O: Esta es la capa superior del Horizonte A. Consiste en hojas, ramas y restos de plantas (détritos), también conocida como capa orgánica.
- Horizonte A: Las especies herbáceas se arraigan en esta capa. Es rico en materia en descomposición y humus. El color es más oscuro que el color de las capas de abajo. Muchos de estos materiales (orgánicos y minerales), pueden desplazarse hacia capas inferiores por el agua.

- Horizonte B: Prácticamente no hay humus en esta capa, por lo que el color es más claro que en la capa superior. Al mismo tiempo, se depositan materiales que penetran desde las capas superiores depositándose en esta, principalmente materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos.
- Horizonte C: También conocido como subsuelo. Está formado por material rocoso, más o menos fragmentado.
- Horizonte D ó R: Llamado roca madre o material rocoso. En él encontramos material rocoso formador de suelo intacto[21].

### Textura del suelo

Se refiere al tamaño de las partículas que lo componen. Se expresa como la cantidad relativa de arena, limo y arcilla en el suelo. La estructura se ve afectada por la forma en que se cultiva la tierra y la cantidad de agua y aire que se puede almacenar. Por supuesto, la textura del suelo depende de cómo el agua se filtra y penetra en el suelo.

Es casi imperativo que el agricultor descubra la textura y las propiedades hídricas del suelo cultivable, ya que es un factor importante en su manejo [22].



Fig. 2. Comparación de tamaños entre la arena, limo y arcilla [18]

Hay cuatro clases principales de textura para la clasificación del suelo:

- Suelos Arenosos: Compuestos principalmente por partículas de arena, que se pueden apreciar a simple vista. Las partículas se separan con facilidad, se saturan con poca agua y se seca rápidamente al aire. Poca adhesividad.
- Suelos Limosos: Compuestos mayormente por partículas más grandes que la arcilla, pero 50 veces más pequeñas que las de arena. Su aspecto en seco es como polvo (talco) y cuando se humedece es suave. Cuando está humedecido es adhesivo, pero no retiene el agua por mucho tiempo.
- Suelos Arcillosos: Están compuestos principalmente de arcilla, que son silicatos de aluminio y otros cationes. Son suelos que cuando se humedecen se vuelven muy plásticos, retienen mucha agua. Cuando se secan quedan muy cohesionados y es difícil de disgregar.
- Suelos Francos: Nos referimos a tipos que son mezclas de varios tipos de materiales y que presentan propiedades mixtas con respecto a las mencionadas anteriormente [23].

El USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) ha establecido un método ampliamente aceptado para clasificar los suelos en categorías según su textura.

Una vez que se conoce la proporción de arena, limo y arcilla, se puede usar el triángulo de textura para determinar la clasificación del suelo. Como dijimos, esta clasificación debería brindarnos alguna orientación sobre el comportamiento hídrico del suelo [22].

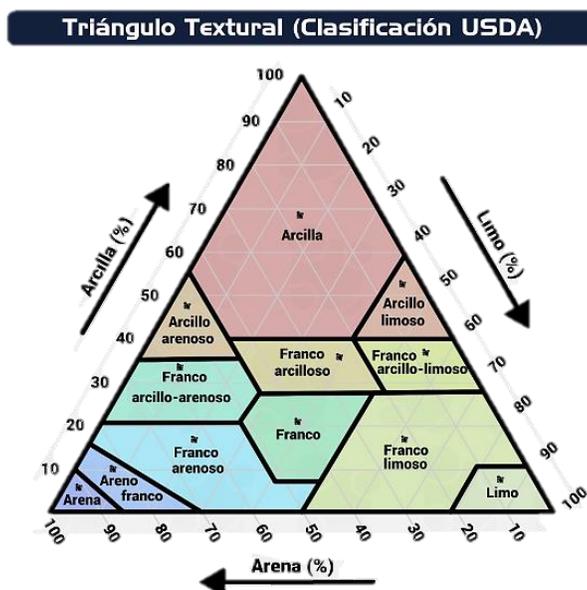


Fig. 3. Clasificación USDA con el triángulo textural [22]

### Orden del suelo

Los suelos se clasifican según su origen y características de manejo según criterios establecidos por la FAO y el USDA. Este tipo de clasificación utiliza ordenes, subgrupos, grandes grupos y familias donde la clasificación es más precisa.

Sin embargo, si consideramos la clasificación según los principales órdenes, ya existen algunas características distintivas entre los tipos de suelo.

Es conocida la Clasificación Taxonómica de los 12 Órdenes del Suelo de la USDA. Estos órdenes son Alfisol, Andisol, Aridisol, Entisol, Espodosol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Ultisol y Vertisol.

La clasificación se determina según el orden de evolución del suelo en una escala de 0 a 5. Los histosoles son los menos desarrollados porque son suelos formados a partir de materia orgánica en llanuras aluviales, pantanos y tundra. En contraste, los oxisoles más desarrollados se caracterizan por una baja fertilidad y un alto contenido de óxido de hierro y aluminio. [20].

### Detalle de los órdenes del suelo

En la TABLA III, se muestra la clasificación de orden de suelos del USDA. Esto se ha tomado como referencia ya que son un referente mundial para temas relacionados con el suelo.

TABLA III  
DESCRIPCIÓN DE CADA ORDEN DE LOS SUELOS

Ilustración	Descripción	Ilustración	Descripción
	<b>Histosol:</b> Son suelos con altas acumulaciones de materia orgánica, no evolucionan debido a las condiciones de baja temperatura y alta humedad. La nomenclatura de estos suelos termina con IST. Se encuentran en zonas bajas.		<b>Entisol:</b> Estos suelos se forman por la tracción y deposición de materiales. No se aprecian los horizontes. Su finalización es en la ENT. Se asientan principalmente en altitudes elevadas (uso recreativo o forestal), en las zonas llanas del litoral mediterráneo, donde se desarrolla una agricultura productiva con regadío regular y en los valles de los ríos donde se desarrollan los sistemas tradicionales de riego.
	<b>Inceptisol:</b> Son suelos con baja o media evolución. Los horizontes no están claramente definidos. Su denominación termina con EPT. Estos son los suelos más comunes en la península e isla. La falta de vegetación en las laderas conduce al problema de la erosión.		<b>Gelisol:</b> Son suelos que permanecen congelados durante mucho tiempo porque se acercan al llamado permafrost. Su composición es muy diversa. Su denominación termina con EL.
	<b>Andisol:</b> Origen volcánico. Tienen una gran cantidad de material amorfo. Alta fijación de fósforo y buen drenaje. Su nombre termina AND.		<b>Vertisol:</b> El suelo tiene un alto contenido de arcilla. Se agrietan después del secado. Suelen ser fértiles y ligeramente alcalinos. Sus nombres terminan con ERT.

Ilustración	Descripción	Ilustración	Descripción
	<b>Mollisol:</b> Suelo oscuro, rico en materia orgánica. Son fértiles por su contenido de arcilla y cationes intercambiables. Tienen propiedades fisicoquímicas adecuadas en la rizósfera. Se reconocen porque su nombre termina en OLL. Se encuentran en Asturias, Cantabria y el País Vasco.		<b>Espodosol:</b> Tienen un alto contenido de materia orgánica. Poseen algo de aluminio en su capa inferior. Pueden o no contener hierro. Tienen un pH ácido y baja fertilidad. Son reconocibles en su nomenclatura porque terminan en OD.
	<b>Ardisol:</b> Suelo de zona seca con baja precipitación y alta evapotranspiración. Si no se riegan, no son muy fértiles. Su denominación termina en ID.		<b>Alfisol:</b> Típico de una región semiárida con variación estacional. Generalmente tienen un horizonte de argílico y buena capacidad de intercambio catiónico. Son bastante susceptibles a la degradación. Suelen contener poca materia orgánica. Su denominación termina con ALF.
	<b>Ultisol:</b> Estos son suelos muy desarrollados con un alto grado de impermeabilización. Rico en sesquióxidos de hierro y aluminio. Tienen un horizonte alto en arcilla, que es arrastrado desde arriba. Estos son suelos pobres con baja capacidad de intercambio catiónico. Son fáciles de reconocer porque sus nombres terminan en ULT.		<b>Oxisol:</b> Están muy desarrollados. Contienen pocos minerales activos. En la parte gruesa son ricos en cuarzo, mientras que en la parte delgada tienen un alto contenido en sesquióxidos de Fe y Al. Retienen poca humedad, lo que limita el crecimiento de las plantas. Son típicos de las regiones tropicales y subtropicales. No tienen un horizonte claro. Su nombre termina con OX

Nota: cada ilustración y descripción de cada orden de los suelos nos muestra sus principales características que poseen dándonos a entender como están conformados [24].

### Principales técnicas en la elaboración de abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son materiales de origen natural, a diferencia de los fertilizantes industriales, que son producto de la síntesis a partir de sustancias químicas obtenidas de la refinación del petróleo. La calidad de los abonos orgánicos depende de sus materias primas y de su proceso de preparación.

Los abonos orgánicos se catalogan como sustratos constituidos por desechos de origen animal, vegetal o mixto, que se añaden al suelo con el fin de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. La materia prima se puede obtener de residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno), también se puede usar las cortezas de árboles, que se generan como residuo de su explotación; restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol); restos orgánicos derivados del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); el procesamiento de productos agrícolas; obteniendo compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados [25].

Según la NTC 5167 versión del 2011 [17], un abono orgánico es un 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 otros parámetros. El cual debe cumplir con unas condiciones y cantidades mínimas de nutrientes, que permitan categorizarlo como abono orgánico, entre los cuales se resaltan los siguientes parámetros a considerar: Contenido máximo de cenizas de 60 %, el contenido de humedad para abonos de origen animal será del 25% y para abonos de origen vegetal es de un 35%. Debe tener una capacidad de retención de humedad mínima equivalente a su propio peso. El pH del abono tiene que estar entre 4 y 9, lo que permitirá un óptimo desarrollo microbiano. El contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo debe ser de 15% y el contenido de nitrógeno (N), Oxido de Fósforo ( $P_2O_5$ ) y Oxido de potasio ( $K_2O$ ) totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) [26], [27].

### Origen de los abonos orgánicos

En los últimos años, los fertilizantes orgánicos han comenzado a atraer cada vez más la atención de los agricultores de países subdesarrollados, ya que ayudan a obtener un mayor nivel de rendimiento, por que mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que facilita la nutrición de la planta. La mayor parte de los habitantes no piensan que los abonos orgánicos aparecieron hace mucho tiempo, y no durante la última década. La historia de la aparición de fertilizantes orgánicos se remonta a no menos de varios milenios.

En los manuscritos antiguos de Japón, Corea y China, que datan de varios siglos antes de Cristo, se hace mención a la aplicación de fertilizantes para el suelo; en ese momento, estos eran excrementos de ganado, pájaros, varios animales e incluso materia fecal humana.

Los habitantes del Antiguo Egipto también aplicaron fertilizantes, que obtuvieron de forma natural en las orillas del Nilo, que durante las inundaciones el suelo se humedecía y se saturaba con limo. Esto sirvió como fuente constante de fertilizantes orgánicos, aumentando significativamente la fertilidad de tales suelos áridos [28].

En Mesopotamia, también se usó de lodo de río y limo de turba, como fertilizantes para tierras agrícolas.

Los antiguos griegos o helenos, fueron los que más avanzaron en esta área. Teofrasto de Eresos, célebre botánico y ecologista en aquellos lejanos días, describe en sus obras la necesidad de fertilizar el suelo en el cultivo de hortalizas y, por supuesto, del trigo.

En sus escritos, encontramos descripciones e información ya más detalladas con respecto a las características de los fertilizantes orgánicos y los métodos de su aplicación.

En el Imperio Romano, Columela, un gran agrónomo y científico que vivió en el primer siglo de nuestra era. Fue quien escribió el primer tratado «Sobre la agricultura», en el que describe la clasificación de los fertilizantes naturales. En ese momento, hizo una gran cantidad de trabajo, resumiendo toda la experiencia acumulada durante siglos del Imperio Romano.

Columela dividió los fertilizantes en (5) cinco tipos:

1. Compost.
2. Estiércol.
3. Fertilización con tierra.
4. Fertilizantes verdes.
5. Fertilizantes minerales.

Durante el período del feudalismo en Europa occidental, es decir, entre los siglos XI y XIII, se inició la expansión activa de las superficies de cultivo, que a veces eran poco adecuadas para estos fines, debido al alto grado de formación de turba. Se impuso a los campesinos la obligación de exportar estiércol al campo de su amo, favoreciendo así las propiedades físicas del suelo y, en consecuencia, mejorando sus rendimientos [29].

Con el desarrollo de la industria, ha aumentado el nivel de aplicación de pesticidas y fertilizantes de síntesis industrial nocivos para la salud y el medio ambiente. Estos fertilizantes aumentaban la cantidad del producto obtenido, porque son alimento para las plantas, pero disminuyen la capa de humus, los microorganismos y fauna del suelo, bastante importante, empobreciendo la fertilidad de la tierra. Como resultado, el mundo se acerca poco a poco a la catástrofe ecológica, que también provocará la crisis alimentaria [28].

Solo los fertilizantes ecológicamente limpios pueden remediar una situación tan difícil en el mundo y ahorrar muchos problemas en el futuro, como: esterilidad en el suelo, contaminación de fuentes hídricas, resistencia a los químicos por parte de las plagas y microorganismo patógenos y permanecía de estos en frutos, que después son para el consumo humano o animal. Los fertilizantes orgánicos pueden reponer y restaurar la capa de humus y aumentar la cantidad de nutrientes y la estructura del suelo.

La experiencia de los países desarrollados, muestra que cuanto más alto es su nivel de crecimiento, más atención se presta al uso, en particular, de fertilizantes orgánicos, a los que se asigna el papel principal en este proceso.

No es clara la fecha en la cual se obtuvo el primer abono orgánico, pero se han hallado cultivos primitivos que, de no haber sido fertilizados, no hubieran prosperado. Es importante aclarar, que diferentes culturas antiguas usaron diversos tipos de abonos orgánicos empleando las materias primas que tenían a disposición, con el objetivo de devolver algunos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas [29].

### **Influencia de los abonos orgánicos en las propiedades físico-químicas del suelo**

La materia orgánica, debido a su alta porosidad, es capaz de retener una cantidad de agua equivalente a 20 veces su peso. Lo que mejora esta propiedad del suelo, facilitando la circulación del agua y del aire a través del perfil del estratigráfico. Estimula el desarrollo radicular de las plantas, a mayor contenido de materia orgánica mayor desarrollo radicular, permitiéndole explorar un mayor volumen de suelo para satisfacer sus necesidades de nutrientes y agua. Mejora la estructura del suelo, porque interviene en la formación de agregados o terrones, dándole una mayor resistencia contra la erosión. Da color oscuro por un proceso químico de oxidación que fija el oxígeno en el sustrato aumentando la temperatura, lo cual favorece las reacciones bioquímicas que allí se desarrollan [29]-[31].

Mejora la capacidad de retención y aporte de nutrientes del suelo hacia las plantas, puesto que la materia orgánica incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo (C.I.C.), al generar cargas negativas que retienen cationes. El intercambio catiónico mejora la fertilidad del suelo incrementando la disponibilidad de iones que contienen átomos esenciales como: Nitrógeno (N), el Fósforo (P), potasio

(K), calcio (Ca) magnesio (Mg), el Azufre (S) y algunos elementos menores, como el Cobre (Cu) y el Boro (B) que Incrementan la capacidad amortiguadora o Buffer del suelo, es decir, su habilidad para resistir cambios bruscos en el pH cuando se adicionan sustancias o productos que dejan residuos ácidos o alcalinos. Ejemplo: cuando la úrea y el sulfato de amonio se aplican al suelo se produce nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) que bajo condiciones de buena aireación se nitrifica liberando Hidrógenos que incrementan la acidez del suelo. En esos casos la materia orgánica actúa como amortiguador disminuyendo la acidez generada por los dos fertilizantes porque retiene los hidrógenos en las moléculas que la conforman [32]-[34].

### **Formulación de abonos orgánicos**

Los abonos orgánicos y su calidad se califican por su potencial para generar vida, y no por su contenido de nutrientes medidos químicamente. Los abonos orgánicos constan de innumerables sustancias químicas como celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, proteínas, aminoácidos, hormonas, ácidos orgánicos e inorgánicos, enzimas y una variedad de agentes quelantes que ceden lentamente los nutrientes, evitando la pérdida de los mismos por lixiviación o erosión. En la actualidad los análisis químicos se centran únicamente en la concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, dejando de lado otras sustancias importantes como las mencionadas anteriormente que permiten un aprovechamiento gradual y controlado de los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal [28]. Por otra parte, en los abonos orgánicos se encuentran poblaciones de microorganismos como fijadores de nitrógeno de vida libre, solubilizadores de fósforo y potasio, proteolíticos, celulolíticos, amilolíticos entre otros.

### **Fluorescencia de Rayos-X**

#### **Descripción de la técnica de fluorescencia de Rayos-X**

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica que utiliza la emisión fluorescente de radiación X, la cual es generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X, la energía que es absorbida por los átomos presentes en la muestra genera la creación de rayos X de fluorescencia o secundarios, que son emitidos por la muestra [35].

Los rayos secundarios poseen una intensidad proporcional a la concentración de cada elemento presente en la muestra, es por esto, que al cuantificar esta radiación determina la cantidad que está presente, esto pasa, porque la radiación X incide expulsando electrones de las capas internas del átomo, donde los electrones de capas externas ocupan los lugares de los electrones expulsados. La energía resultante de esta transferencia es extraída en forma de fotones, siendo esta la radiación X secundaria o fluorescente. Cuenta con una longitud de onda característica que va depender del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados y una intensidad relacionada con la concentración del elemento presente en la muestra [35].

El método de fluorescencia de Rayos-X se usa para determinar la composición elemental de los materiales, los cuales van desde el Flúor hasta el Uranio, en muestras líquidas, polvos o sólidos, se caracteriza por ser un análisis rápido y no destructivo para la muestra [36].

#### **Descripción física técnica de fluorescencia de Rayos-X**

Las líneas características de Rayos-X son marcadas con las letras K, L, M o N con el fin de indicar las capas desde donde se han originado; seguido se agregan las letras alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) o gama ( $\gamma$ ), indicando la capa posee más energía en la emisión [35].

- Cuando un fotón de Rayos-X emita energía suficiente, golpea un átomo causando el desalojo de un electrón de una de sus capas internas en este caso la K.

- El átomo toma el lugar de la capa K con un electrón de la capa L, lo que causa la caída del electrón al estado de energía inferior, la energía sobrante es liberada como un rayo X K.
- El átomo ocupa el lugar de la capa K con un electrón de la capa M, lo que causa la caída del electrón al estado de energía inferior, la energía sobrante es liberada como un rayo X KB [36].

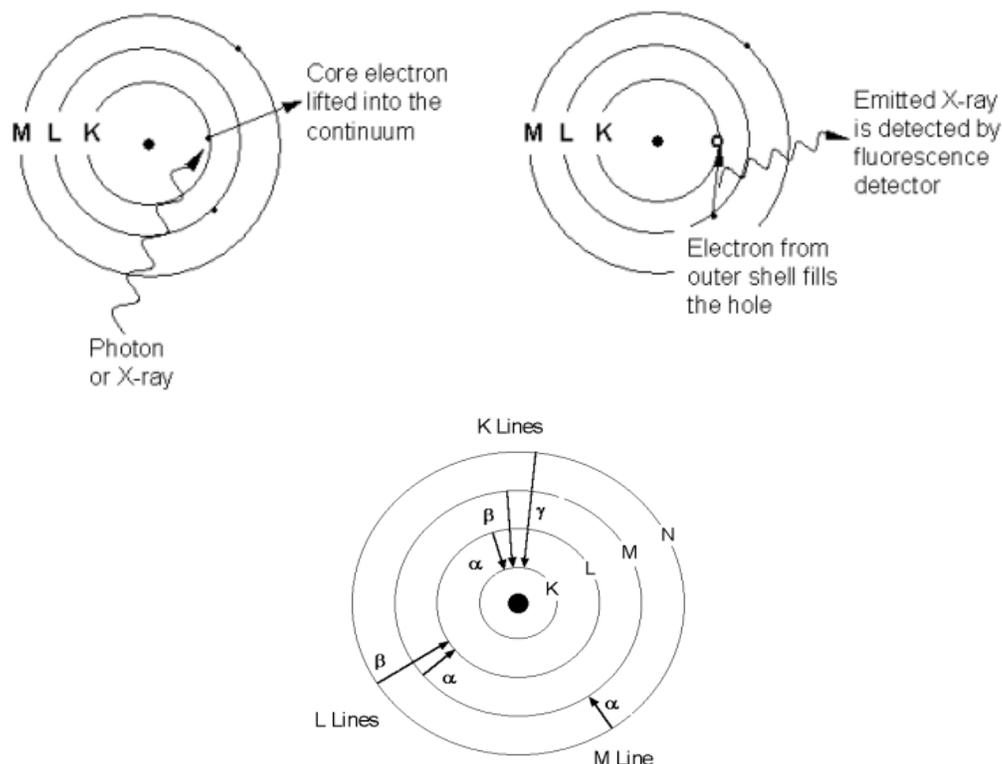


Fig. 4. Descripción física de la fluorescencia de Rayos-X

Nota: fuente Descripción física de la fluorescencia de Rayos-X [36].

### Principio básico de la fluorescencia de Rayos-X

La fluorescencia de Rayos-X es un fenómeno óptico por el que un material se somete a radiaciones de diferentes longitudes de ondas, este es capaz de emitir radiaciones de longitud de onda mayores; este fenómeno es conocido como fluorescencia cuando es de carácter temporal; pero cuando es de mayor tiempo se le denomina fosforescencia [37].

### La excitación

Este es el encuentro entre un electrón y un fotón X incidente con un electrón de las capas internas del átomo, produciendo la expulsión, como se evidencia en la Fig. 5. de un electrón, logrando que el átomo quede en estado de excitación.

La energía producto de la radiación de excitación y la longitud de onda de los Rayos-X de fluorescencia se relacionan con el número atómico del elemento responsable del fenómeno ocurrido y de esta manera es identificado.

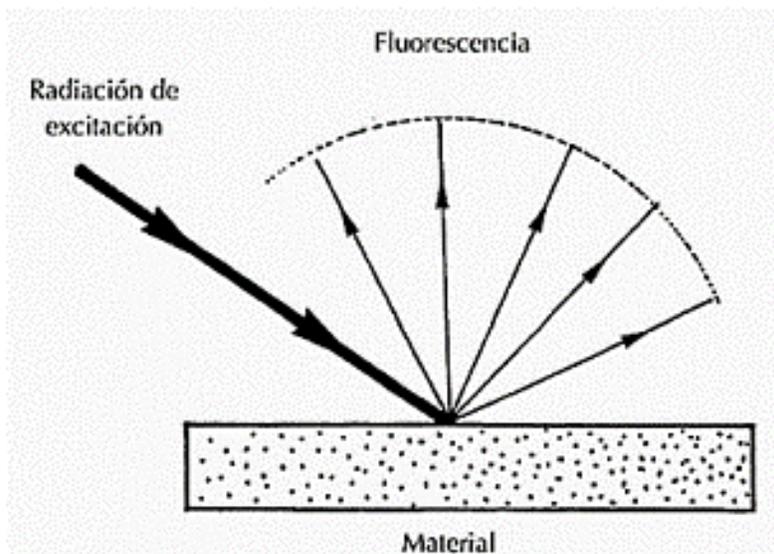


Fig. 5. Fluorescencia de Rayos-X

Nota: fuente fluorescencia de Rayos-X [37].

### Espectroscopia de absorción atómica

#### Espectrometría

Es un análisis cuantitativo elemental de partículas en una muestra siendo el más usado en la actualidad, este método es basado en la transición electrónica entre las capas del átomo, donde este se excita, produciendo un espectro electromagnético, dando lugar a dos tipos de espectrometrías, por absorción atómica y emisión atómica [38].

#### Absorción atómica

Este es uno de los métodos más utilizados para el análisis de cualquier tipo de muestra, consiste en llevar los elementos a una fase gaseosa al quemar la muestra, posterior a esto, es iluminado con un rayo de luz que tiene una determinada longitud de onda. Según sea el elemento a determinar; los átomos en su estado fundamental cuyos niveles corresponden con los de la longitud de onda incidente, toma la energía para excitar los electrones a niveles superiores; de esta manera se determina que cada elemento es perceptivo a una sola longitud de onda y la cantidad de energía que es absorbida es proporcional a la concentración de la muestra [38].

La espectroscopia de absorción atómica, posee la facilidad de analizar cada elemento, pero este tarda en tener el registro de los resultados, en la Fig. 6. se puede apreciar los cuatro componentes básicos de iluminación para obtener la radiación característica del elemento a analizar con un espectrómetro de absorción atómica.

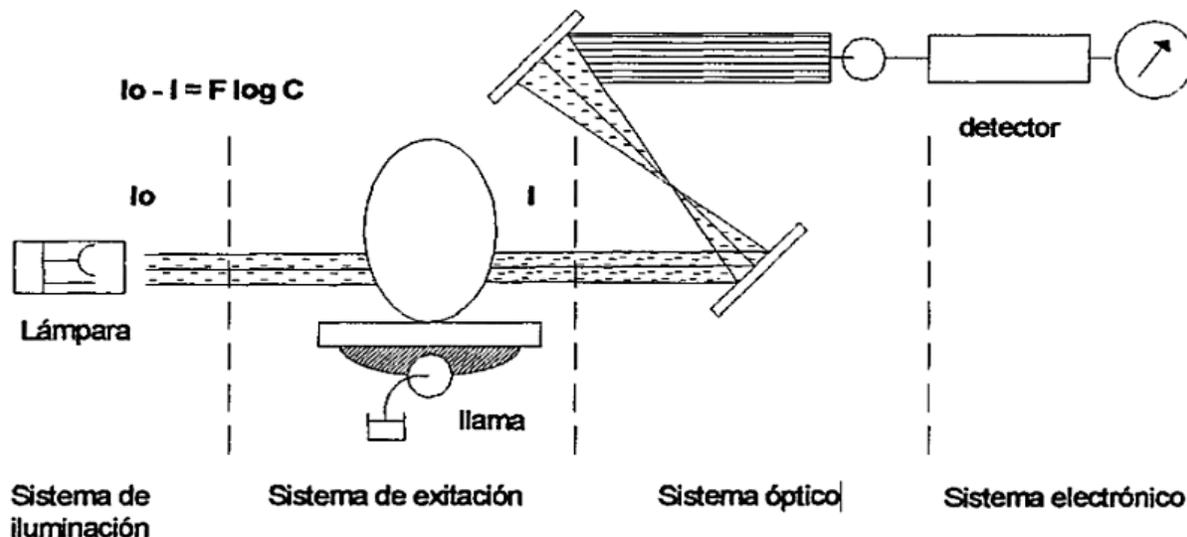


Fig. 6. Espectroscopia de absorción atómica

Nota: fuente espectroscopia de absorción atómica [38].

## ESTADO DEL ARTE

### Referencias Internacionales

En el año 2007, realizaron una investigación en la cual evaluaron el compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba, Bolivia, en silos hiperventilados, teniendo en cuenta que el procesamiento de palmito en la agroindustria genera en promedio 9.483 ton/año de residuos sólidos orgánicos, al realizar su disposición final a cielo abierto generan impactos negativos sobre el medio ambiente, por lo tanto se propuso la realización del compostaje de estos residuos a través de un proceso de alta temperatura, la cual es denominada como compostaje en silos hiperventilados (CSH), este fue aplicado por primera vez en Bolivia; durante este proceso se evaluó la etapa de descomposición rápida del proceso, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y ambientales, obteniendo aspectos positivos que posicionaron esta técnica algo ventajosa; como resultado obtuvieron un producto casi estable en un tiempo considerable, menor al del compostaje tradicional, no requirió de sistemas de volteo o aireación forzada, no generó lixiviados y pudieron clasificarlo como un producto que cumple todos los parámetros de calidad para su comercialización; al realizar la evaluación pudieron identificar la necesidad de estandarizar esta técnica o proceso de CSH, validar el periodo de descomposición y la fase de maduración del producto final [39].

Los autores Adegunloye, Adetuyi, Akinyosoye y Doyeni, realizaron una investigación sobre el análisis microbiano del compost utilizando el estiércol de vaca como refuerzo, el cual demostró altos niveles de poblaciones bacterianas con el 86% de los cultivos que fueron probados, siendo estos Gram positivos y Gram negativos; realizaron la identificación de las poblaciones microbianas mediante el análisis bioquímico donde reconocieron diferentes grupos de bacterias, al aislar y clasificar estos grupos de microorganismos pudieron determinar los siguientes: para bacterias (*Bacillus pumilu*, *B. macereans*, *B. sphearicus*, *B. laterosporus*, *Micrococcus varians*, *Proteus mirabilis*, *Enterobacter aerogenes*); para hongos, (*Apergillus rapens*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *Mucor mucedo*, *Rhizopus stolonifer*, *Varicosporium* y *Fusarium*); obteniendo que las cargas microbianas del compost varían entre  $1.6 \times 10^6$  y  $1.2 \times 10^7$  ufc/ml (unidad formadora de colonias/mililitros) para bacterias y  $5 \times 10^4$  y  $5 \times 10^7$  ufc/ml para hongos [40].

En la ciudad de Córdoba, Argentina, realizaron una investigación sobre la caracterización física, química y biológica del compost y vermicompost, planteando como objetivo caracterizar y clasificar los materiales compostados y vermicompostados, mediante métodos de análisis estadístico multivariado PCA y técnicas típicas de clasificación LDA, pudiendo determinar parámetros relacionados con sus características físicas, químicas y biológicas, obteniendo información útil tanto para los productores como los consumidores; durante esta investigación analizaron 28 vermicompost y compost, teniendo en cuenta 19 parámetros físicos, químicos y biológicos, la evaluación, se realizó mediante técnicas multivariadas como el análisis de componentes principales (PCA), análisis discriminante lineal (LDA), donde obtuvieron resultados en una amplia variación de algunos parámetros: el carbono orgánico total (COT), el índice de germinación (IG), pH, nitrógeno total (NT) y el carbono soluble en agua (WSC), que dependen de las características del proceso; teniendo en cuenta las técnicas estadísticas PCA, LDA les fue posible clasificar todas las enmiendas orgánicas y dar a cada uno las características desde el punto de vista de la calidad obtenida [41].

Para el año 2008, en la Habana Cuba, realizaron una investigación, teniendo en cuenta la complejidad de los sustratos y productos intermedios, la diversidad y la sucesión microbiana, siendo importante para asegurar la biodegradación completa de los residuos generados por la sociedad del consumo; realizaron el estudio de la sucesión de poblaciones microbianas durante el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, siguiendo algunos parámetros físicos y químicos durante el proceso, mantuvieron el contenido de humedad dentro de los rango de 50 % y 60 %, seguido controlaron la temperatura diariamente, con el fin de estudiar los efectos que se obtienen, por factores ambientales importantes en las comunidades microbianas; donde obtuvieron como resultado que el sustrato fue colonizado en mayor proporción por bacterias (44.6 %), actinomicetos (32.3 %) y en menor proporción por hongos (23.1 %); los géneros dominantes encontrados fueron: *Bacillus*, *Streptomyces*, *Actinomyces*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*. El análisis que realizaron de regresión múltiple, reveló que el parámetro ambiental que mayor influencia ejerció sobre los grupos microbianos en mención fue la temperatura [42].

En el año 2010, se realizó una investigación donde evaluaron el potencial de los hongos *lignocelulolíticos* para el compostaje rápido de la paja de arroz, teniendo en cuenta el desarrollo de esta, se aislaron 49 hongos de varias fuentes de compostaje de paja de arroz, naturales e inducidas, donde probaron el potencial de 10 aislamientos para descomponer paja de arroz lignocelulósica pudiendo evaluar su tasa de crecimiento y la producción de biomasa, así como su capacidad de descomponer la lignina y la celulosa en medios modificados con polvo de paja de arroz; seleccionaron 4 aislamientos como agentes lignocelulolíticos potenciales para realizar el estudio de compatibilidad in vitro en función de la tasa de crecimiento óptima, producción de biomasa y su actividad lignocelulolítica, donde encontraron 6 interacciones diferentes entre 4 aislamientos las cuales interactuaron en forma de entremezclado mutuo, entremezclado mutuo parcial e inhibición en el punto de contacto; finalmente *Aspergillus niger* y *trichoderma viride* fueron probadas para la biodegradación in vitro de paja de arroz. El grupo de hongos pudo descomponer significativamente la celulosa, las hemicelulosas, la lignina y el carbono total, donde la relación C/N se produjo desde un valor inicial de 19.5 a 29.3 en tres semanas del proceso de biodegradación, lo cual demostró el potencial de este método para su uso en el compostaje a gran escala de paja de arroz [43].

Para el año 2011, realizaron un trabajo de investigación el cual consistió en separar dos bacterias termófilas HP83 (*Helicobacter pylori*) y HC181 (*Bacteria púrpura*) de rápido crecimiento, alta capacidad para descomponer proteínas y celulosa de 48 muestras extraídas de vertederos, compostaje y estiércol animal, mediante ensayos de actividad y medio idénticos; la comunidad microbiana compleja HP83 y HC181 fueron aplicadas durante el compostaje aeróbico de residuos sólidos municipales, el cual se llevó a cabo en un reactor de compostaje en condiciones controladas. La comparación de inoculación y no inoculación de los microorganismos, se examinó a través de inspección de temperatura, compuestos orgánicos volátiles VOC,  $\text{NH}_4^+$  (amonio)/ $\text{NO}_3^-$  (nitrato), dentro del periodo principal del compostaje; los

resultados que encontraron muestran que, en comparación con el periodo sin inoculación, el periodo de compostaje con inoculación de microorganismos se acortó 4 días, la temperatura incrementó en 10 °C y el tiempo para llegar a la temperatura máxima se acortó a 2 días; la degradación con microorganismos se aceleró efectivamente y la reducción de peso y volumen fue superior a la que no fue inoculada [44].

En el año 2012, se realizó una investigación denominada “Co-compostaje de café molido con lodos de aguas residuales de aceitunas y estiércol de aves de corral y el efecto de la inoculación de *trametes versicolor* en la madurez del compost”, el cual consistió en una investigación a escala semiindustrial. El co-compostaje de posos de café, lodos de aguas residuales de molienda de aceitunas y estiércol de aves, con el fin de reducir la toxicidad de la fracción fenólica y mejorar el grado de humificación del compostaje; inocularon compostas con el hongo de la pudrición blanca (*trametes versicolor*) en las primeras etapas de la fase de maduración. Durante el proceso del compostaje, determinaron una serie de parámetros físico-químicos: reducción de materia orgánica, C/N y temperatura, carbono orgánico total, nitrógeno total, composición elemental, degradación de la lignina y las características espectroscópicas de los ácidos húmicos (HAs); el impacto en el proceso de compostaje sobre el índice de germinación de *Hordeum vulgare* (cebada) y *Lactuca sativa* (lechuga); Los residuos de café indicaron ser una materia prima altamente compostable, lo cual dio como resultado un compost final maduro con un índice de germinación del 120% en menos de 5 meses de compostaje. Además, la inoculación con *Trametes versicolor*, condujo a un mayor grado de aromatización del ácido húmico en comparación a la pila de control, en la mezcla inoculada, la degradación de la lignina fue 3 veces mayor y el ácido húmico aumentó en un 30%, en comparación a la pila de control. En el *Trametes versicolor*, la mezcla inoculada, los promedios de Carbono y Nitrógeno aumentaron significativamente en las moléculas del ácido húmico, en un 26% y 22% respectivamente; estas mejoras en el grado de humificación fueron confirmadas por la relación de densidades ópticas de las soluciones de ácido húmico a 465 y 665 nm, el cual fue menor para el ácido húmico en la mezcla tratada, que el de la pila de control [45].

Para el año 2017, se realizó un trabajo investigativo para la universidad de Hull (Reino Unido), en el cual los autores midieron varios parámetros para investigar: los cambios biológicos, físicos y químicos que ocurren en el compost durante el uso del hongo *Agaricus bisporus*, además de monitorear las muestras del compost, durante el cultivo de hongos mantuvieron muestras que no fueron inoculadas con fines comparativos, obteniendo como resultados de las principales variables gran diferencia entre la composta termófila de la fase I, la composta de la fase II y la composta inoculada con hongos. La asimilación de leucina, una de las técnicas novedosas para entornos de compostaje, es adecuada como uno de los métodos para evaluar la actividad microbiana en el compostaje, por medio del cual no se obtiene una concordancia entre la asimilación de la leucina y la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA), siendo esta una de las técnicas menos utilizadas en compostaje, sugiriendo que ninguna de las dos deberían utilizarse como única medida de la actividad microbiana en el compost [46].

En el año 2017 en Beijing, China se llevó a cabo un estudio de investigación sobre el efecto de la inoculación de microbios en el compostaje de residuos sólidos urbanos y las características del ácido húmico teniendo en cuenta que los RSU contienen una cantidad significativa de sustancias húmicas, partiendo de esto el estudio del compost consistió en la utilización de residuos sólidos urbanos sin presencia de metales, plásticos y vidrios, para acelerar el proceso de degradación y aumentar el grado de humificación del compostaje; los siguientes microorganismos fueron inoculados para dicho proceso (*Bacillus casei*, *Lactobacillus buchneri*, *Candida rugopelliculosa*) y ligno-celulolítica (*Trichoderma and White-rot fungi*); durante este proceso se extrajo y se purificó el ácido húmico (HA), teniendo en cuenta los elementos (C, N, H, O) y las características espectros tópicos fueron determinadas utilizando un analizador elemental, UV, infrarrojo transformado de Fourier (FTIR) y espectroscopia de fluorescencia; los espectros de análisis de elementos FTIR, UV y fluorescencia llegaron a la misma conclusión de que las inoculaciones con microbios condujeron a un mayor grado de aromatización del ácido húmico que en el proceso de control sin microorganismos de inoculación, concluyendo que la inoculación con microbios en

el compostaje mejoro el grado de humificación y de maduración, en el siguiente orden: lingo-celulolítico, microorganismos complejos, CK. La inoculación mixta de los residuos sólidos urbanos con microorganismos complejos y lingo-celulolíticos durante el compostaje, demostró un mayor grado de aromatización del ácido húmico que la inoculación con microorganismos complejos o lingo-celulolíticos solos, al realizar la comparación del ácido húmico del suelo y del compost, revelo que el ácido húmico del compost tiene un menor grado de aromatización [47].

En el año 2017, se realizó un trabajo de investigación para la revista Argentina de Microbiología, el cual consistió en la generación de un inoculante acelerador del compostaje, este se desarrolló elaborando un compostaje con una mezcla de estiércol de ovino más paja, extrayendo un inóculo de 5 diferentes fases del proceso del compostaje, en los siguientes días de haber iniciado el proceso (18, 23, 28, 33 y 38), evaluando su efecto en la reducción del tiempo de biotransformación de un compost de estiércol de ovino; las muestras fueron conservadas en un ultracongelador, después se liofilizaron para obtener el inóculo y seguido a esto agregaron 50 g a cada tratamiento en la segunda fase experimental, donde establecieron 6 procesos (T= tratamiento), (C = paja (P) + estiércol de ovino (O)), por lo tanto T1 = P + E + inóculo de 18 días al haber sido iniciado el proceso de compostaje (I18), T2 = P + E + I23, T3 = P + E + I28, T4 = P + E + I33, T5 = P + E + I38, realizando 3 repeticiones por cada uno. Los tratamientos se adecuaron en una cámara de ambiente el cual fue controlado con 45% de humedad relativa y a 30°C, al mismo tiempo, se colocaron frascos con 50 g de material para medir la producción diaria y la acumulación de CO<sub>2</sub>, la temperatura, pH, Nitrógeno, Carbono total, relación C/N, conductividad eléctrica, materia orgánica, tamaño de partícula y densidad aparente. La producción de CO<sub>2</sub> en los procesos establecidos T2 y T5 se obtuvo una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a los demás tratamientos, lo que demostró que el inóculo de estos, aceleró la dinámica de los microorganismos y el proceso de compostaje [48].

Para el año 2020, teniendo en cuenta la alta producción de residuos orgánicos, se realizó un estudio que consistió en la viabilidad del compostaje a escala comunitaria, en el que puede ser utilizado por el consejo local o empresa encargada de la gestión de los residuos, siendo un punto de partida eficaz para desviar los residuos orgánicos de los rellenos sanitarios o vertederos, dentro de este estudio se muestra con éxito la viabilidad de un sistema de compostaje de desechos de alimentos a escala comunitaria, donde la universidad de Nottingham, Malasia, fue el apoyo como caso de estudio, el método que seleccionaron fue el de la pila estática al aire libre, donde se utilizaron restos de alimentos a modo de sustrato y hojarasca como agente de carga. El modelo de compostaje el cual fue diseñado en este caso de estudio, también puede ser aplicado a otro tipo de residuos orgánicos; la materia prima que se utilizó fue mezclada en una proporción de peso de residuos orgánicos y hojarasca de 4:1, lo que dio como resultado un nivel de humedad inicial del 63% y una proporción C/N de 27, este proceso puede completarse en 7 meses, lo cual produce alrededor de 30% en peso (base seca) de compost a partir de la materia orgánica total; obteniendo que el producto final cumplió con el estándar de fertilizante orgánico de Malasia, lo cual demostró la viabilidad de esta tecnología de bajo costo; al realizar el estudio económico, mostró que sustituir los fertilizantes químicos por el abono orgánico producido internamente, es una opción viable y que para Malasia el sistema de abono podría autosostenerse financieramente, solo cuando el costo del vertido se llegue a incrementar 2.3 veces; al evaluarse el ciclo de vida se obtuvo que el uso del compostaje, para reemplazar los residuos orgánicos en rellenos sanitarios o vertederos, la sustitución de fertilizantes químicos con el compost orgánico producido, puede reducir en gran medida los impactos ambientales, especialmente el calentamiento global, la eutrofización, la ecotoxicidad y el agotamiento de los combustibles fósiles [14].

## Referencias Nacionales

En año 2009, Juan Fernando Saldarriaga Elorza, realizo su tesis cuyo estudio se basa en el compostaje y la emisión de los VOC's asociados a la mineralización y condensación de la materia orgánica presente en

el compostaje, siendo estos gases peligrosos para los animales, plantas y seres humanos, donde decidieron hacer la cualificación y determinación de la generación de los VOC's mediante el proceso de cromatografía gaseosa acoplada a masas durante el desarrollo de compostaje de los residuos sólidos urbanos (RSU) llevado a cabo durante 7 semanas, donde también analizaron parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, obteniendo como resultado cerca de 311 VOC's entre ellos: compuestos aromáticos policíclicos, aromáticos, alifáticos y terpenos, durante la fase de compostaje, en las semana 3 y 4 se destacó como las mayores en cuanto a generación de VOC's, con un número de 141 y 158, donde sobresalen los xilenos, toluenos y etilbenceno, estos compuestos son conocidos por poseer efectos adversos a la salud [49].

La Universidad del Norte de la sede Barranquilla, propusieron hacer un estudio microbiológico basado en el ensayo creado por esta universidad llamado Indore de compostaje, pero modificado, utilizando solo residuos vegetales (poda) con aireación pasiva, con el fin de reducir los olores y controles operativos, durante este estudio los autores variaron las condiciones de entrada de la composta, teniendo en cuenta niveles bajos y altos en la relación carbono/nitrógeno (C/N), inoculando o no microorganismos nativos (*Streptomyces* sp, *Aspergillus niger*), con el fin de acelerar el proceso de compostaje, obteniendo como resultado, que los microorganismos mesófilos y termófilos presentes, tuvieron una gran aceptación con los materiales de la composta y la relación C/N, donde se notó la evolución en las variables fisicoquímicas a causa de los microorganismos y la aireación involucrada. Como una de sus principales conclusiones a través de este trabajo de investigación fue, que los microorganismos incorporados contaron con los nutrientes requeridos presentes en los residuos vegetales y que el sistema desarrollo una cinética biooxidativa suficiente y similar a la que es obtenida en otros procesos en los cuales se adicionan residuos animales y aireación forzada [32].

En el año 2012, el grupo de investigación sistemas agroforestales pecuarios, de la Universidad de Cundinamarca, realizaron el estudio sobre la identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca, utilizados como materia prima (plátano, pulpa de café, estiércol de vaca y pollo), dentro del proceso de compostaje, en el que los autores describen la población microbiana, aplicando la propagación en serie en medios selectivos, utilizando métodos micro y macro, se encontró que los microorganismos más importantes se encuentran tanto en medios puros, así como en sus mezclas, los cuales fueron: para bacterias del género *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Streptomyces* y *actinomycetos* y finalmente para hongos, *Aspergillus* y *Penicillium* [50].

Bajo la autoría de Jeyme Liset Ardila Delgado, Jonathan Cano Córdoba, Guillermo Silva Pérez y Yolanda López Arango [51] realizaron un estudio exploratorio y descriptivo, donde construyeron pacas digestoras con poda de jardín y estiércol fresco, teniendo en cuenta una proporción de 50% para cada uno, realizaron un seguimiento tomando los datos de pH, temperatura, humedad, lixiviados, peso, volumen, microorganismos, roedores y artrópodos, donde al realizar este seguimiento o caracterización, el resultado para pH estuvo en un rango de 6.11 y 8.9, temperatura máxima interna de 57 °C y mínima de 25 °C, la temperatura ambiente entre 19 y 24 °C, no se evidenciaron niveles de metano, amoníaco y sulfuro de hidrógeno; en el seguimiento no encontraron presencia de roedores, cucarachas y moscas domésticas. El proceso que se llevó a cabo de descomposición de las pacas fue por bacterias, hongos y artrópodos descomponedores, obteniendo como producción de 76% de compost. Teniendo en cuenta como conclusión, que las pacas actúan como proceso biológico y aeróbico, lo que favorece las diversas interacciones entre los artrópodos y microorganismos para la degradación de los residuos orgánicos.

En el año 2015, realizaron el trabajo de investigación con el fin de evaluar la descomposición biológica de residuos orgánicos mediante dos técnicas, pacas digestoras y compostaje y así determinar el rendimiento de estos, donde tuvieron en cuenta un monitoreo de diversas variables, (humedad, volumen, temperatura, pH y las muestras que fueron sometidas a los análisis microbiológicos, fisicoquímicos y fitotóxicas cuando se cumplió el tercer mes de operación), estas variables demostraron que los

tratamientos aplicados fueron desarrollados de la mejor manera y evolucionaron favorablemente a través del tiempo, con las pruebas fitotóxicas y microbiológicas, se determinó que el producto final a partir de cada biotécnica empleada, dio una buena calidad, con los análisis fisicoquímicos evidenciaron que hubo cierto grado de inmadurez de la materia orgánica obtenida, donde los autores concluyeron que ambos procesos les faltó más tiempo en la etapa de maduración [52].

Para el 2016, Laura Catalina Ossa Carrasquilla, teniendo en cuenta la producción de residuos orgánicos que presentan a diario y analizando qué gran parte de esta es utilizada para compostaje y el resto es acumulado y desechado, decidieron evaluar la aplicación de pacas biodigestoras para el tratamiento del resto de residuos, como un método alternativo para hacer una buena gestión integral de los residuos. Donde se realizaron 4 pacas biodigestoras en la zona verde de la universidad, las cuales 3 de ellas las monitorearon, teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica, registrando también humedad, pH, temperatura y altura de la paca, del mismo modo decidieron evaluar la madurez final del abono orgánico obtenido de una de las pacas luego de 6 meses de descomposición, por medio de dos métodos, cuantitativo para los parámetros fisicoquímicos, fitotóxicos y microbiológicos y cualitativo con el fin de obtener el análisis cromatográfico en papel circular. La autora confirmó la viabilidad ambiental de las pacas en términos de reciclar y aprovechar los residuos orgánicos generados dentro de la universidad, obteniendo que una paca alcanza a digerir entre 500 y 600 kg de residuos orgánicos, por metro cuadrado de suelo, este proceso de descomposición depende directamente de las condiciones ambientales y del microclima que pueden afectar los cambios de pH y humedad, teniendo en cuenta que estos factores son determinantes a la hora de descomponer la materia orgánica. Cuando ocurre el proceso de fermentación, se produce ácidos orgánicos (ácido acético) y alcohol, los cuales cumplen con la función de desinfectante de los residuos orgánicos, convirtiendo la tecnología de las pacas biodigestoras en un sistema apropiado para eliminar organismos patógenos y fitotóxicos, obteniendo un producto final característico por ser un sustrato de buena calidad y que su utilización puede resultar beneficioso para las características químicas, físicas y biológicas de los suelos [53].

El investigador Cristian Yair Arenas Osorno, en el año 2017 [54], realizó una propuesta, donde comparó dos sistemas de compostaje, (a cielo abierto y pacas digestoras), determinando el más eficiente en términos de calidad de compost obtenido y algunas variables, durante la fase inicial del proyecto realizaron la recolección de residuos orgánicos en el centro educativo rural por 20 días, donde determinaron la cantidad generada, en la segunda etapa, ejecutaron el montaje de las pacas digestoras y posteriormente el desarrollo a cielo abierto, en la última fase realizaron el seguimiento al proceso de descomposición, donde tuvieron en cuenta durante 5 días parámetros como humedad, pH y temperatura. En el resultado final, determinaron que el más eficiente es el compostaje en pacas digestoras, donde obtuvieron un pH constante en rangos de 7 a 8 durante la descomposición aeróbica, la humedad de las pacas se conservó estable y óptimo entre 40% y 60%, mientras que en el compostaje a cielo abierto, el pH se mantuvo por debajo de 7 la mayor parte del tiempo y en cuanto a la humedad, está descendió hasta valores críticos inferiores al 40%, la temperatura en las pacas digestoras evidenciaron una disminución durante los primeros días donde alcanzó la etapa termófila, superior a los 60 °C, conservando la humedad por encima del 40% con el pH cercano a 8, lo cual indicó que hay liberaciones altas de dióxido de carbono y existencia de una conversión adecuada de la materia orgánica.

Para el año 2019, se encontró un trabajo de investigación, el cual trata sobre la estabilización de los biológicos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante pacas biodigestoras; con el fin de evaluar el proceso de estabilización de estos lodos en 4 pacas biodigestoras, con un contenido diferente para cada una, efectuando seguimiento de algunas variables durante 4 meses, (pH y temperatura), una vez finalizado los 4 meses, realizaron el análisis fisicoquímico y microbiológico del resultado final, donde observaron que en ninguno de los casos la temperatura superó los 50 °C y el pH se mantuvo en un rango entre 7,5 y 3,5. En las pruebas de laboratorio obtuvieron valores apropiados

para, Carbono Orgánico Total (COT), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), relación C/N, y unos valores aceptables para Fósforo (P) y NOT, lo cual cumplió con las exigencias para metales presentes, menos las concentraciones de Níquel; dentro de la caracterización microbiológica, obtuvieron presencia de coliformes fecales y totales, como también la presencia de huevos de helmintos, concluyendo, que la estabilización de lodos alcanza mejores resultados cuando se aumenta los residuos de cocina y se obtiene un producto con características apropiadas para ser suministrado al suelo como abono orgánico o para la recuperación de los mismos, para lograr la inhibición de microorganismos como los huevos de helmintos se requiere más tiempo de maduración de las pacas biodigestoras [55].

Los autores Alarcon Prieto, Gordillo Rangel y Rivera Llanos, en el año 2019, realizaron su proyecto de investigación el cual consistió, en aislar microorganismos presentes en la biota del suelo, que aún no se utilizan como métodos de producción para fertilizantes, sabiendo las propiedades de los mismos desarrollando y evaluando la efectividad del producto que se generó, los cuales fueron empleados en cultivos de hortalizas y huertas domésticas, en este proyecto de investigación aislaron e identificaron *Lactobacillus* sp, *Aspergillus niger* y *Streptomyces* sp, procedentes del desarrollo del compostaje, utilizándolos en la elaboración de un abono microbial, el cual se encargó de acelerar el proceso de compostaje, evaluando parámetros como humedad, temperatura, relación C/N, permitiéndoles concluir, que todos los tratamientos presentaron un contenido de humedad óptima y la temperatura alcanzada fue entre los 48 °C y 54 °C, lo cual es eficiente a la hora de eliminar agentes patógenos que afectan la eficacia del compost, pero no se logró un porcentaje alto de germinación de las semillas, estando entre un 0 y 35% [56].

Como lo afirman las investigaciones realizadas por Yang, Zeng, Zhang, Medina Lara *et al.* Alarcon Prieto, Gordillo Rangel, Rivera Llanos [44], [48], [56], donde efectuaron el aislamiento de diferentes tipos de bacterias, cada una con actividades distintas (descomposición de proteínas y celulosa), realizando seguimiento de temperatura, y pruebas finales de pH, relación C/N, carbono total, donde coinciden con la disminución en el tiempo de descomposición y aumentos en las temperaturas, dando como resultado positivo final en el uso de microorganismos.

Ardila Delgado, Cano Córdoba, Silva Pérez, López Arango, Posada Marín, Ossa Carrasquilla, Arenas Osorno, Pulgarín Muñoz, Wills Betancur [51]-[55], realizaron estudios e investigaciones sobre el uso de pacas biodigestoras en diversas aplicabilidades, llevando un seguimiento de pH, humedad, temperatura, coincidiendo todos con el rango de pH y la temperatura en el proceso, evaluando también la generación de lixiviados y la presencia de microorganismos patógenos, en la cual algunos autores afirman que el uso de material orgánico adecuado, ocasionan procesos fermentativos donde generan ácidos orgánicos (ácido acético) que ayudan a reducir la presencia de los agentes patógenos, concluyendo que el proceso de descomposición por medio de pacas biodigestoras es una técnica apropiada y eficiente en la obtención de sustratos de buena calidad gracias a los estudios fisicoquímicos y microbiológicos realizados al finalizar el proceso.

Según las investigaciones realizadas por Adams, Frostick, Mohd Saud, Sariah, Zahangir Alam, Kausar, azi Ismai, Hachicha [43], [45], [46], donde los autores coinciden sobre el uso de diversos tipos de hongos como acelerantes en el proceso de descomposición realizando diferentes muestras con la presencia de estos, efectuando al final los debidos análisis fisicoquímicos, obteniendo resultados positivos en el proceso de descomposición para la celulosa, hemicelulosa y la lignina, en la disminución del tiempo, así como también aumento en la proporción C/N.

## MARCO GEOGRÁFICO

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Duitama y el municipio de Iza, Boyacá, siendo Iza, el lugar donde se realizaron 8 pacas biodigestoras en total, separadas según su forma de armado, escogiendo dos puntos específicos.

En el primer punto, se realizaron 3 pacas biodigestoras con estiércol de oveja, ubicada en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 35.715'N, Longitud 72° 57.929'O con una altitud de 2918.6 m.s.n.m.

En el segundo punto, se realizando 5 pacas biodigestoras sin estiércol de oveja, ubicada en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 37.194'N, Longitud 72° 59.627'O con una altitud de 2554.7 m.s.n.m.

En la ciudad de Duitama, en la vereda San Luis, con la ayuda del grupo RADS-Colombia, se realizaron 2 pacas biodigestoras con la incorporación de microorganismos, ubicadas en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 50.169'N, Longitud 73° 1.168'O.

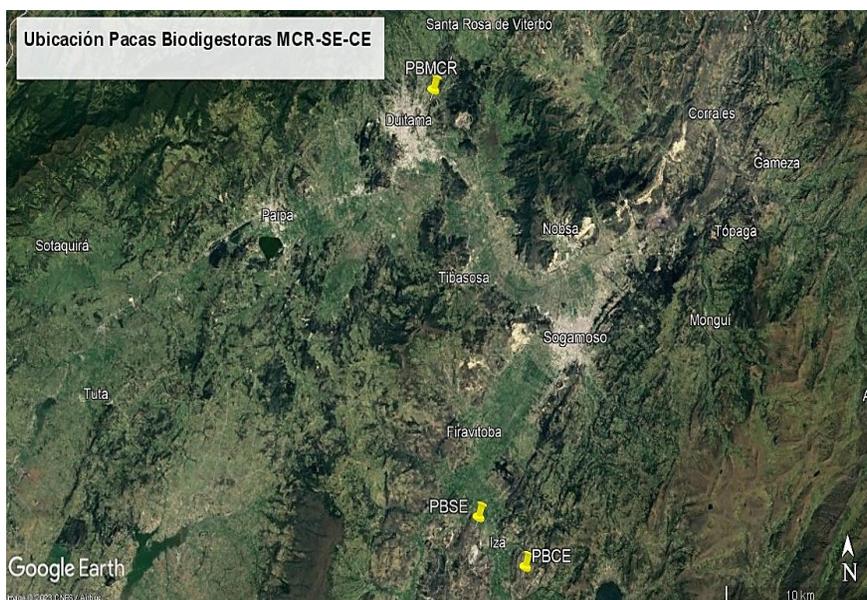


Fig. 7. Ubicación general de las 3 zonas escogidas para la elaboración de las pacas biodigestoras.

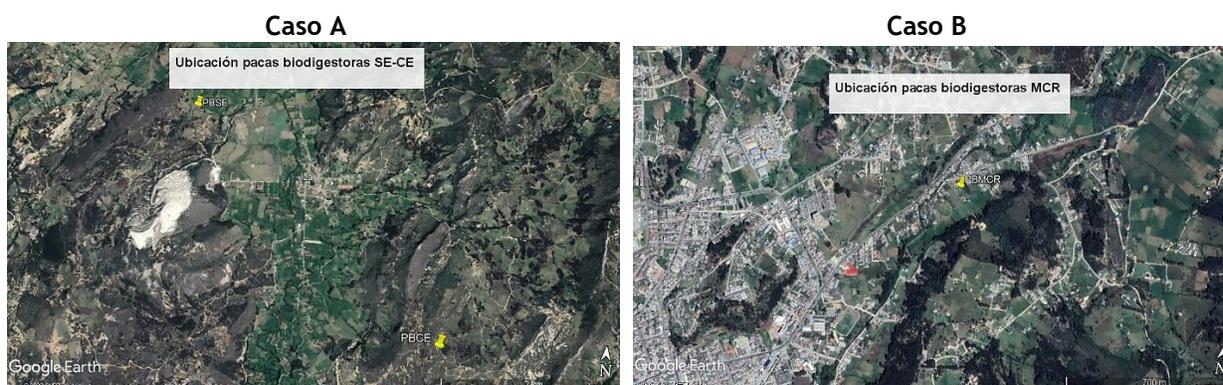


Fig. 8. Ubicación de las zonas escogidas para la elaboración de las pacas biodigestoras.

Nota: En la fotografía satelital se puede apreciar: (Caso A) la localización de las dos zonas en el municipio de Iza. (Caso B) la localización de la zona en la vereda de San Luis, Duitama.

## MARCO LEGAL

Este proyecto de investigación, se desarrolló en torno a la legislación colombiana vigente que resume en la TABLA IV, resaltando que la normativa nacional actual referente a abonos orgánicos es extenso y contempla diferentes parámetros con respecto al cumplimiento de valores permisibles de los elementos, formas en que deben de ser aplicados, concentraciones a suministrar al suelo.

TABLA IV  
MARCO NORMATIVO

Acto legislativo	Fecha publicación	Descripción
<b>Convenio Sobre la Diversidad Biológica, 1992 Comunidad Internacional</b>	En vigor para el país el 26 de febrero de 1995	Es un instrumento internacional para la protección de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios del uso de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible [57].
<b>Constitución Política de Colombia 1991</b>	Gaceta Constitucional N <sup>a</sup> 127 del 10 de octubre de 1991	<p>Artículo 63: “los bienes públicos, los parques naturales, los terrenos públicos de los pueblos, las tierras de reserva, el patrimonio arqueológico nacional y los demás bienes señalados por la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables”.</p> <p>Artículo 79: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano. La ley garantiza la participación ciudadana en las decisiones que puedan afectarla. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del medio ambiente, preservar las áreas de especial importancia ecológica y apoyar la educación para lograr estos fines”.</p> <p>Artículo 80: “El Estado elaborará planes para el manejo y uso de los recursos naturales a fin de asegurar el desarrollo sostenible, la conservación, la restauración o la reposición de los recursos”.</p> <p>Artículo 366: “El bienestar general y la mejora de la calidad de vida del pueblo son los fines sociales del estado. Su objetivo principal será atender las necesidades insatisfechas en salud, educación, salud ambiental y agua potable. Para estos efectos, en los planes y presupuestos de los países y entes territoriales, el gasto social del estado prevalecerá sobre cualquier otro medio” [58].</p>
<b>Decreto-Ley 2811 de 1974 Congreso de Colombia</b>	Fecha de Entrada en Vigencia 18 de Diciembre de 1974, publicado en el Diario Oficial No. 34243.	El Estado y los particulares que participan en la protección y ordenación del medio ambiente sirven a los intereses de la población, sobre el principio de que el medio ambiente es un bien común de la humanidad, necesario para la existencia y desarrollo económico, social de las ciudades. La protección y gestión de los recursos naturales renovables también beneficia a las comunidades y la sociedad [59].
<b>Ley 99 de 1993 Congreso de Colombia</b>	Entrada en Vigencia el 22 de diciembre de 1993, publicado en el Diario Oficial 41146 de diciembre 22 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA [60].
<b>Resolución No. 1068 de 1996</b>	Instituto Colombiano Agropecuario ICA Abril 24 de 1996	En la cual se dictan las disposiciones sobre la aplicación de insumos agrícolas, los requisitos para la acreditación en aplicación de insumos agrícolas, las obligaciones de las empresas de aplicación de los insumos [61].

Acto legislativo	Fecha publicación	Descripción
Resolución No. 00150 de 2003	Instituto Colombiano Agropecuario ICA Enero 21 de 2003	Orientar la comercialización y el uso y manejo adecuados y racionales de los fertilizantes y acondicionadores de suelos, tanto para prevenir y minimizar daños a la salud, a la sanidad agropecuaria y al ambiente bajo las condiciones autorizadas, como para facilitar el comercio internacional [62].
Resolución No. 3079 de 1995	Instituto Colombiano Agropecuario ICA Octubre 19 de 1995	Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines [63].
NTC 5167 (Primera actualización)	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC Mayo 31 de 2004	Tiene como objetivo 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 [26].

## OBJETIVOS

### GENERAL

Aportar un método biotecnológico para la transformación de residuos sólidos orgánicos en el proceso de pacas digestoras.

### ESPECÍFICOS

- Incorporar microorganismos al proceso de descomposición para determinar su eficiencia.
- Implementar un proceso biotecnológico para sustituir las metodologías empíricas actuales sobre la elaboración de pacas digestoras.
- Caracterizar el sustrato obtenido del proceso empírico y biotecnológico implementado.
- Implementar el análisis por fluorescencia de Rayos-X en la caracterización de abonos orgánico.

## METODOLOGÍA

Para el correcto desarrollo, se optará por una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa), partiendo desde las bases teóricas y proyectos investigativos sobre las pacas biodigestoras centralizándolas en un solo objetivo, para poder determinar por medio de estadísticas y resultados de análisis de laboratorio, dando una solución a los objetivos planteados.

### Metodología implementada para el proceso de armado de pacas biodigestoras

La Fig. 9. ilustra el proceso de armado de las pacas biodigestoras donde se debe de tener cuidado a la hora de seleccionar la superficie, procurando que sea plana para facilitar su armado, después de agregar cada una de las capas (residuos orgánicos y poda), deben de ser bien compactadas ya que proporcionaran firmeza y solidez a la paca evitando el ingreso del aire, para poder que suceda el estado fermentativo sin presencia de aire ya que puede afectar el proceso entrando la materia en estado de pudrición.

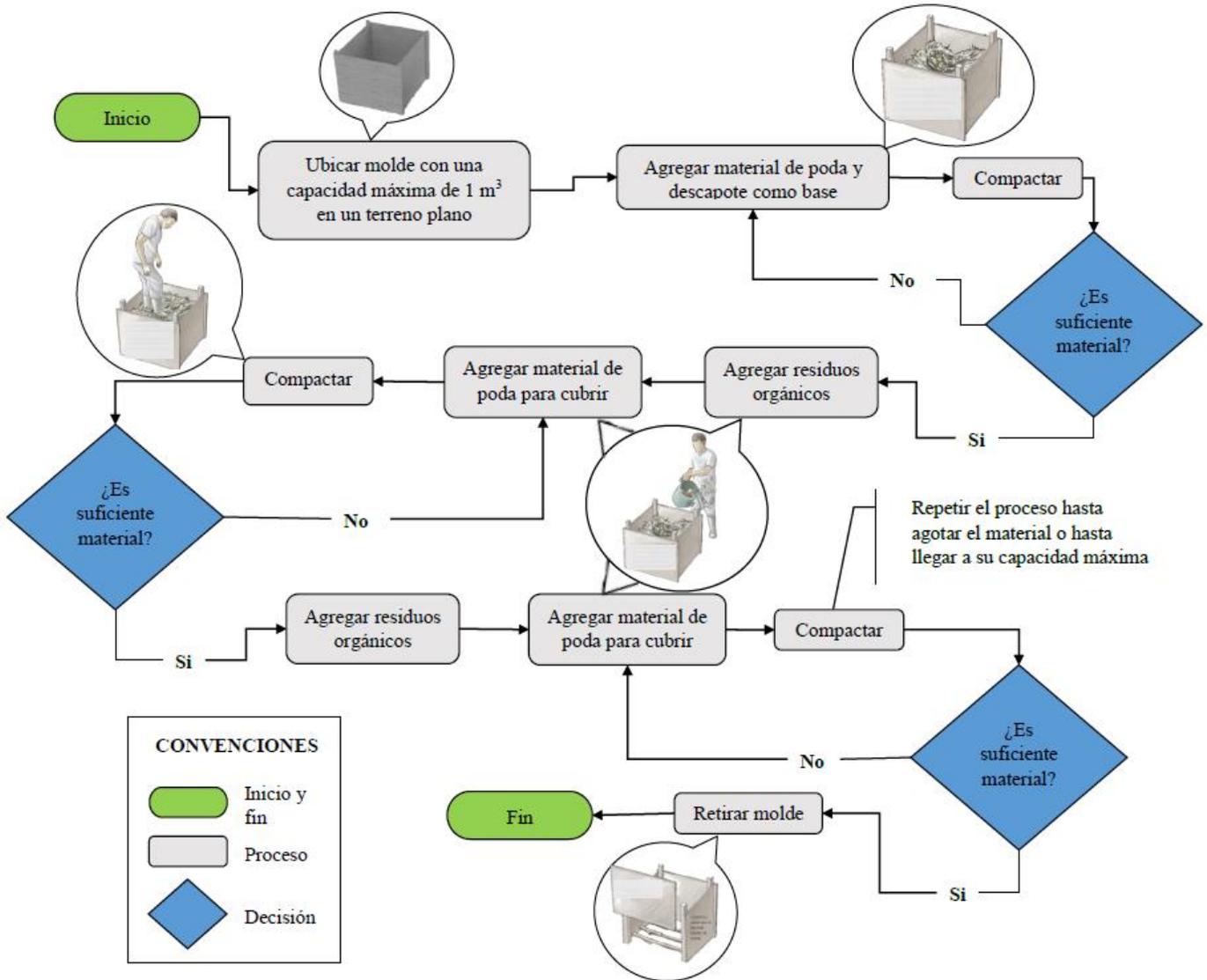


Fig. 9. Diagrama de flujo del proceso de armado de pacas biodigestoras.

**Metodología implementada para el proceso de armado de pacas biodigestoras con el tratamiento biotecnológico**

La Fig. 10. ilustra el proceso de armado de las pacas biodigestoras resaltando que al momento de agregar cada una de las capas (residuos orgánicos y poda) agregar el tratamiento biotecnológico (microorganismos) que deben de estar bajo refrigeración para que se logren preservar, y seguido, deben de ser bien compactadas ya que proporcionaran firmeza y solidez a la paca evitando el ingreso del aire, para poder que suceda el estado fermentativo sin presencia de aire, pasados 2 meses de su elaboración incorporar nuevamente microorganismos.



Tipo de microorganismo	Función en la paca biodigestora
<i>Lactococcus spp.</i>	Metaboliza diversos azúcares como la lactosa o la glucosa [67].
<i>Bacillus spp.</i>	Su diversidad metabólica es asociada a la promoción del crecimiento vegetal y control de patógenos [68].
<i>Pseudomonas spp.</i>	Metaboliza la glucosa oxidativamente [69].
<i>Xanthomonas spp.</i>	Metabolizan diferentes compuestos como fuentes de nitrógeno y carbono [70].
<i>Streptococcus spp.</i>	Destacados por fermentar carbohidratos produciendo ácido láctico [71].
<i>Aspergillus spp.</i>	Degradan polisacáridos de las paredes celulares de las plantas y adquiriendo fuentes de nitrógeno disponibles a través de la degradación de sustratos proteicos [72].
<i>Trichoderma spp.</i>	Metaboliza nitratos, carbono y hierro [73].
<i>Gliocladium spp.</i>	Solubilización de fosfatos [74].

**Metodología implementada para la preparación de los diferentes medios de cultivo.**

La Fig. 11. ilustra el proceso para la preparación de cada medio de cultivo, siendo importante portar los elementos de bioseguridad ya que evita que fuentes externas contaminen los medios, brindando un proceso sin alteraciones.

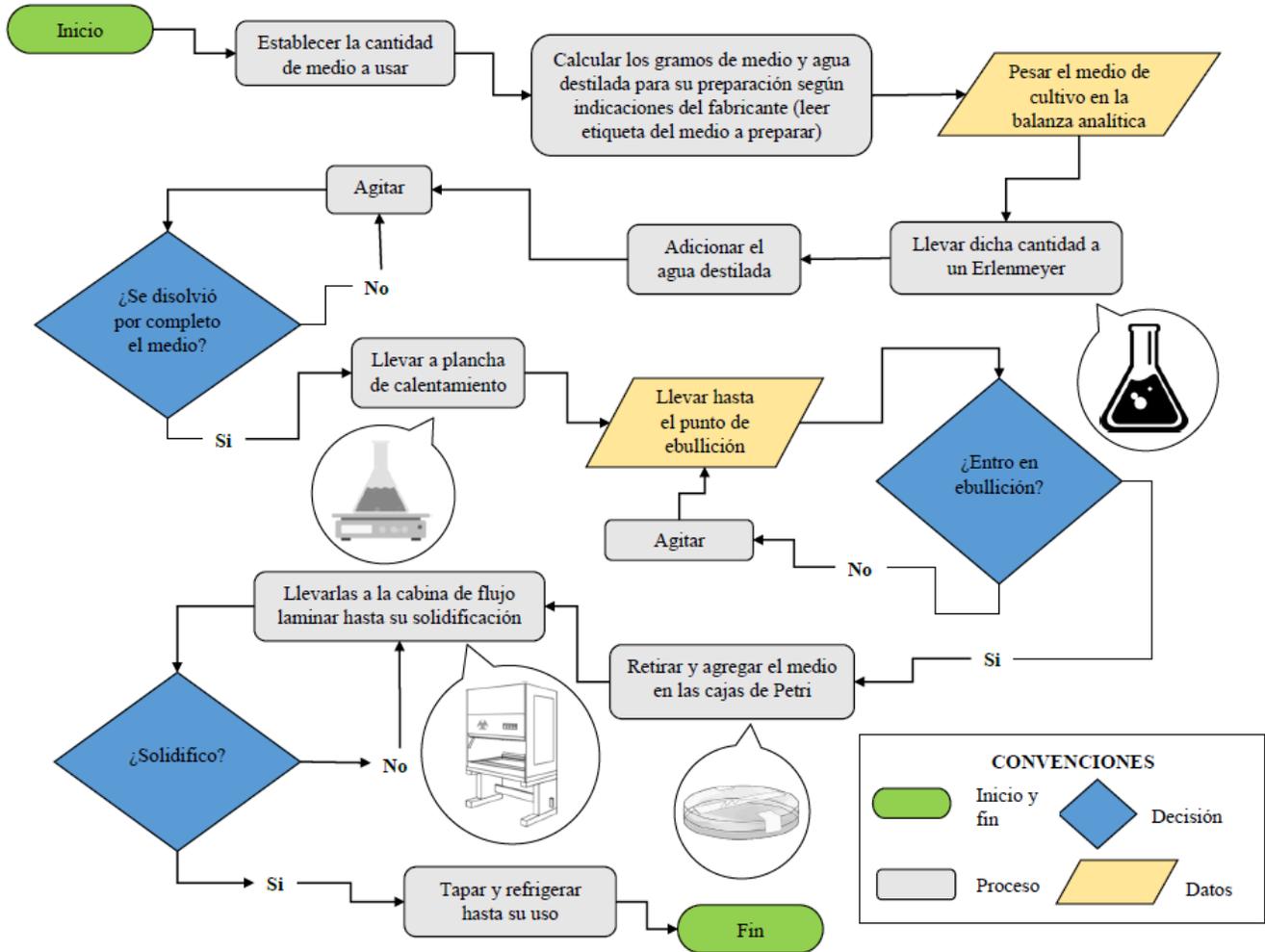


Fig. 11. Diagrama de flujos para la preparación de medios.

**Metodología implementada para el proceso de siembra de las diferentes muestras de cada una de las pacas.**

La Fig. 12. ilustra el proceso para la preparación de cada dilución, siendo importante portar los elementos de bioseguridad ya que evita que fuentes externas contaminen los medios; de igual maneras las puntas de las micropipetas deben de estar esterilizadas para poder brindar un proceso sin alteraciones y una inoculada las muestras dejar en un proceso de incubación por 48 horas.

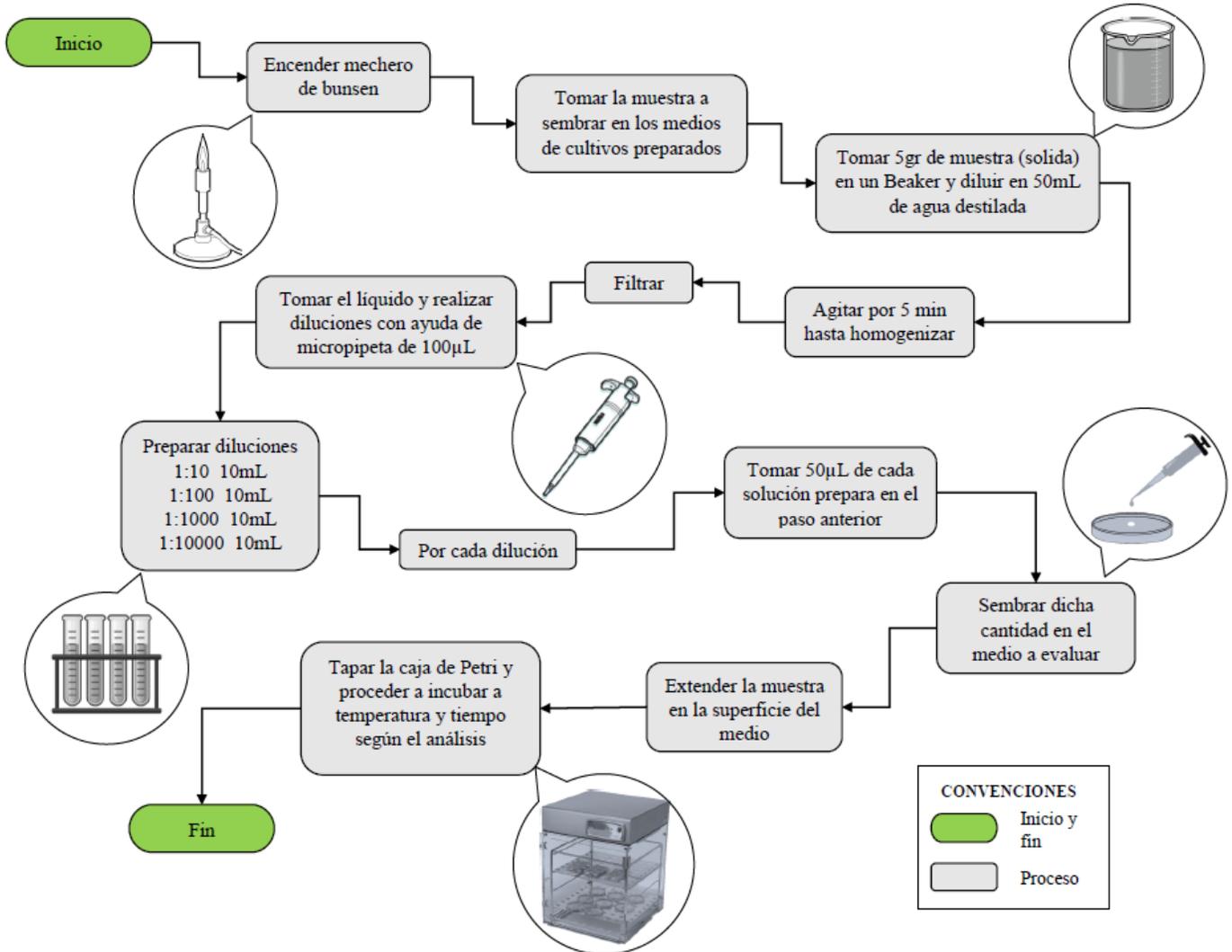


Fig. 12. Diagrama de flujo para la siembra de muestras en los diferentes medios.

**Metodología implementada para el proceso de análisis microscópico.**

La Fig. 13. ilustra el proceso para la preparación de la muestra que es analizada en el microscopio, a la hora de utilizar tinción de Gram o Azul de metileno sea con una cantidad pequeña, para poder observar de una mejor manera en el microscopio y una vez finalizado, limpiar y esterilizar el material utilizado.

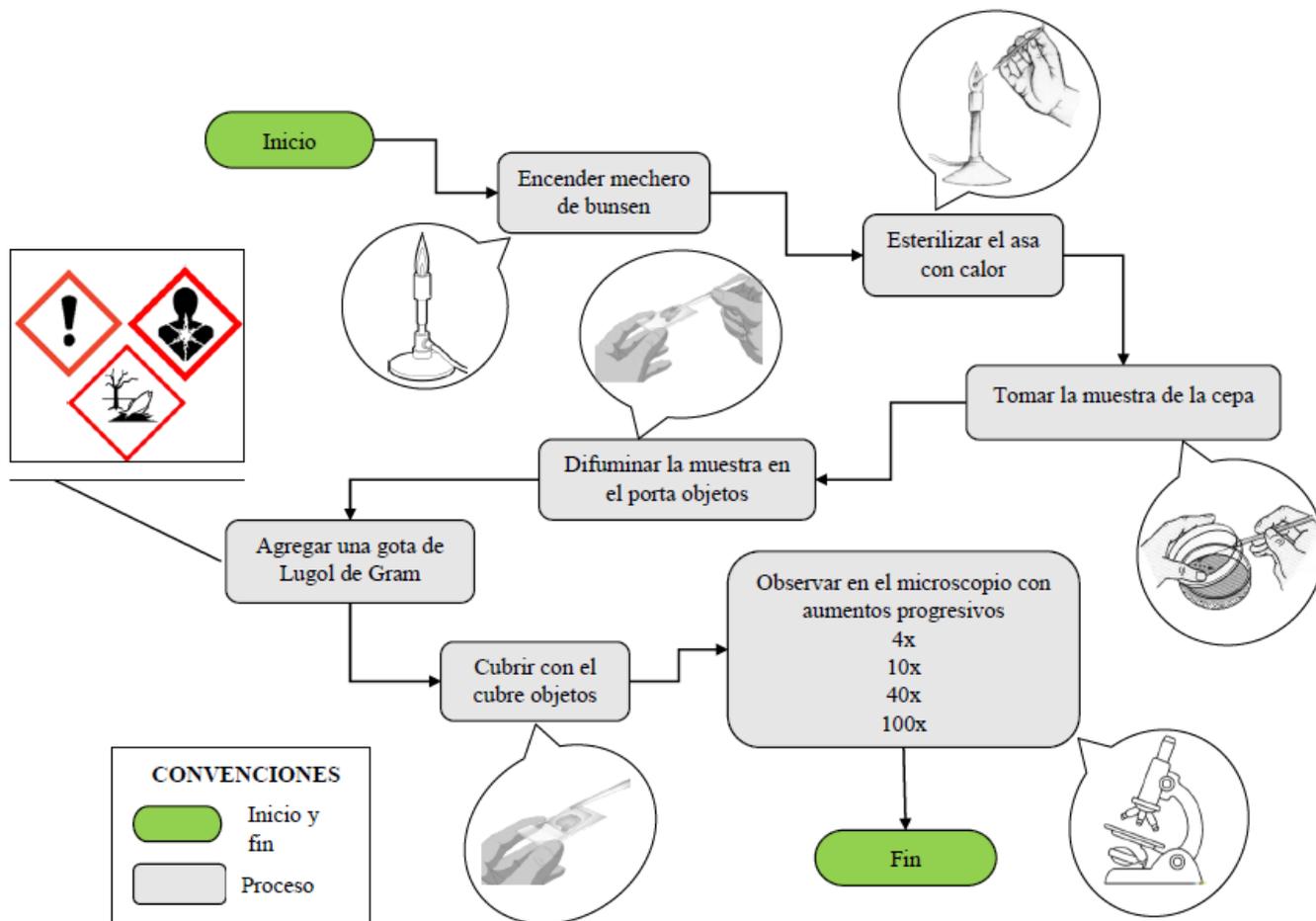


Fig. 13. Diagrama de flujo para el análisis microscópico.

**RESULTADOS**

En el proceso de armado de las pacas biodigestoras, el material de poda tiene como función, el confinamiento de los residuos orgánicos, con el fin de que no se pudran por oxigenación y propicien el estado fermentativo, los residuos secos retienen lixiviados. Las bacterias y hongos descomponedores tienen como función la construcción de suelo orgánico, por esto siempre estarán presentes, por tal motivo no es posible erradicarlos; lo que se puede llegar a hacer, es reducir su población. Por lo tanto, la presencia de patógenos en el proceso no indica contaminación fecal, son recicladores naturales que pueden llegar por agentes externos, suelo, agua y aire.

## PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

### Temperatura, Humedad relativa, pH, conductividad, humedad, cenizas y pérdidas por volatilización

Los datos correspondientes a temperatura y humedad reportados en esta sección se midieron con un termohigrómetro marca UNI-T A12T, el pH con un pH-metro marca pH 400 pH/Mv Meter Portable y la conductividad con un conductímetro de bolsillo marca EC 20 Cond Tester.

### Resultados de cada paca biodigestora realizada sin microorganismos

En la TABLA VI, se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos para las pacas biodigestoras construidas con residuos orgánicos de cocina, material de poda (pasto, ramas y hojarasca), en este caso sin microorganismos, codificada como PB5SM, ubicada en el municipio de Iza en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 37.194'N, Longitud 72° 59.627'O con una altitud de 2554.7 m.s.n.m.

Para determinar los porcentajes de humedad, cenizas y pérdidas por volatilización, se tuvo en cuenta las ecuaciones planteadas en la NTC-5167, ver ANEXOS, Fig. 35 a 36.

Los parámetros para las pacas codificadas PB1SM, PB2SM, PB3SM y PB4SM se encuentran en los ANEXOS, TABLAS XXVIII a XXXI.

TABLA VI  
PARÁMETROS FÍSICOS PACA PB5SM

PB5SM			
Temperatura (°C)	33.4	37.9	24.2
Humedad relativa (%)	74	37	19
pH	9.70		
Conductividad (μS)	1835		
Humedad (%)	75.93		
Cenizas %	6.8		
Perdidas por volatilización %	93.2		



### Resultados de cada paca biodigestora realizada con estiércol

En la TABLA VII, se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos para la paca biodigestora construida con residuos orgánicos de cocina, material de poda (pasto, ramas y hojarasca) y estiércol de oveja, codificadas como PB3CE. Ubicadas en el municipio de Iza en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 35.715'N, Longitud 72° 57.929'O con una altitud de 2918.6 m.s.n.m.

Los parámetros para las pacas codificadas PB1CE y PB2CE, se encuentran en los ANEXOS, TABLAS XXXII a XXXIII.

TABLA VII  
PARÁMETROS FÍSICOS PACA PB3CE

PB3CE	
Temperatura (° C)	54.8 30
Humedad relativa (%)	57 36
pH	9.92
Conductividad (mS)	2.54
Humedad (%)	74.64
Cenizas %	8.38
Perdidas por volatilización %	91.62



### Resultados de cada paca biodigestora realizada con el tratamiento biotecnológico

En la TABLA VIII, se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos para la paca biodigestora construidas con residuos orgánicos de cocina, material de poda (pasto, ramas y hojarasca), en este caso, realizando el tratamiento biotecnológico (incorporación de microorganismos), codificada como PB1MCR, ubicada en la vereda San Luis de la ciudad de Duitama, en la siguiente georreferencia: Latitud 5° 50.169'N, Longitud 73° 1.168'O.

TABLA VIII  
PARÁMETROS FÍSICOS PACA PB1MCR

PB1MCR						
Temperatura (° C)	31.8	34.7	36.9	38.15	39.5	42.6
Humedad relativa (%)	84	86	75	89	78	83
pH	9.25					
Conductividad (µS)	553					
Humedad (%)	59.67					
Cenizas %	29.29					
Perdidas por volatilización %	70.71					



Los parámetros físico-químicos nos indican la calidad del abono orgánico y su aporte nutricional. El potencial de hidrogeno pH es un a medida que permite determinar si el abono es idóneo para ser aplicado directamente al suelo y los valores reportados por la NTC 5167 es de 4 a 9, por lo que el abono con mejores condiciones de pH es el obtenido a partir del proceso biotecnológico el cual tiene un valor de 9,25.

La humedad en todos los casos es mayor al 50% lo que indica una alta cantidad de materia orgánica capas de retener agua, esto es bueno ya que aportan gran cantidad de agua a las plantas. Por otra parte, el contenido de cenizas indica la cantidad de minerales que fueron fijados exitosamente en el proceso de degradación de la materia orgánica, con esto en mente, el tratamiento biotecnológico su el más eficiente en la fijación de minerales inorgánicos al suelo con un valor de cenizas de 29.29%, lo que permite que

estén más disponibles para la nutrición de las plantas. Este resultado se complementa con el bajo valor de pérdidas por volatilización 70,71% que indica que el proceso biotecnológico aumenta la disponibilidad de micronutrientes en su forma inorgánica que es como pueden ser tomados por las plantas para su nutrición.

## RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

### Resultados de cada medio de cultivo para la muestra control MC

La Fig. 14. y la TABLA IX, muestran los resultados del crecimiento microbiológico en cada uno de los medios, en el que son presentadas, que, para el crecimiento de colonias en el medio EMB Agar, Levine, EMB Agar, Levine, exhibe una coloración verde metálico indicando la presencia de *Escherichia coli* debido a la rápida fermentación de la lactosa; en el medio MacConkey Agar se perciben colonias de color rosa indicando colonias capaces de fermentar carbohidratos. De igual manera las unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en los medios EMB Agar Levine y Salmonella Shigella Agar, fue fácil de contar en el periodo de incubación de 24 horas, indicando un bajo número de colonias, a excepción de los medios Bile Esculin Agar y MacConkey Agar, indicando un alto número de colonias. En el conteo de las 48 horas de incubación para las diluciones 1:100, 1:1000 y 1:10000, ver ANEXOS TABLA XXXIV, se percibió el aumento en el crecimiento.

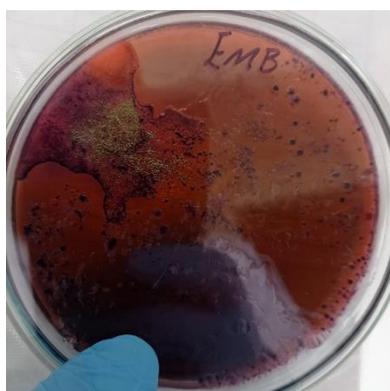
TABLA IX  
MEDIOS DE CULTIVOS PARA DETERMINAR LAS UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS, MC  
Unidades formadoras de colonias UFC

Medios de cultivo/Concentración	Unidades formadoras de colonias UFC			
	1:10	1:100	1:1000	1:10000
MC (24H) EMB Agar, Levine	175	63	9	9
Salmonella Shigella Agar	187	52	14	8
MacConkey Agar	Incontable	154	78	70
Bile Esculin Agar	Incontable	71	66	52

EMB Agar, Levine

Salmonella Shigella Agar

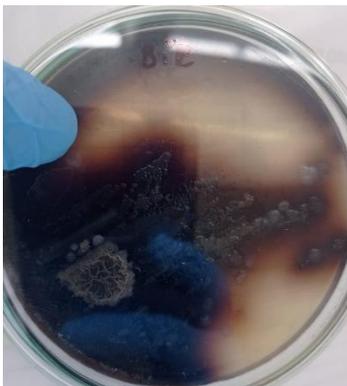
MacConkey Agar



---

**Bile Esculin Agar**


---




---

 Fig. 14. Crecimiento de colonias en cada medio de cultivo para la MC
 

---

**Resultados de cada medio de cultivo por muestra de cada paca biodigestora realizada sin microorganismos**

La Fig. 15. y la TABLA X, muestran los resultados del crecimiento microbiológico en cada uno de los medios, en el que son presentadas, que, para el crecimiento de colonias en el medio EMB Agar, Levine, exhibe una coloración negra azulado indicando la presencia de coliformes; en el medio MacConkey Agar se perciben colonias de color rosa indicando colonias capaces de fermentar carbohidratos. De igual manera las unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en los medios EMB Agar Levine, Salmonella Shigella Agar, Bile Esculin Agar y MacConkey Agar, fue fácil de contar en el periodo de incubación de 12 y 24 horas, indicando un bajo número de colonias, en el conteo de las 48 horas de incubación en la dilución 1:10000, ver ANEXOS TABLA XL, se percibió el aumento en el crecimiento.

TABLA X  
MEDIOS DE CULTIVOS PARA DETERMINAR LAS UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS, PB1AÑO

		Unidades formadoras de colonias UFC				
		Medios de cultivo/Concentración	1:10	1:100	1:1000	1:10000
PB1AÑO (24H)	EMB Agar, Levine		117	50	6	0
	Salmonella Shigella Agar		84	23	4	0
	MacConkey Agar		57	54	0	0
	Bile Esculin Agar		92	39	18	0

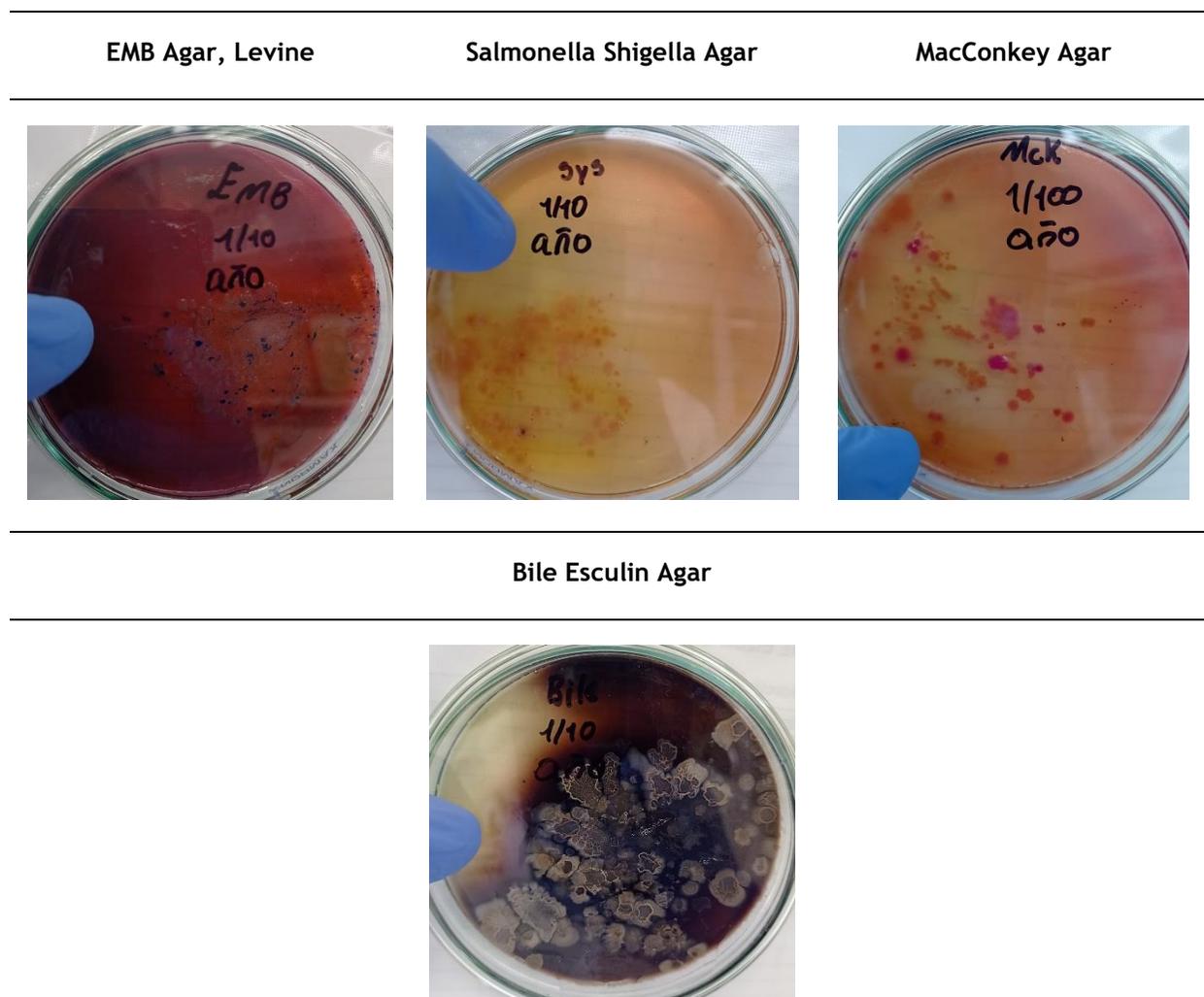


Fig. 15. Crecimiento de colonias en cada medio de cultivo para la paca PB1AÑO

#### Resultados de los diferentes medios de cultivo para la muestra del estiércol de oveja

La Fig. 16. y la TABLA XI, muestran los resultados del crecimiento microbiológico en cada uno de los medios, en el que son presentadas que para el crecimiento de colonias en el medio EMB Agar, Levine, exhibe una coloración verde metálico indicando la presencia de *Escherichia coli* debido a la rápida fermentación de la lactosa, de igual manera las unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en los medios EMB Agar Levine, Salmonella Shigella Agar y Bile Esculin Agar, fue fácil de contar indicando un bajo número de colonias, mientras que para el medio de cultivo MacConkey Agar en las diluciones 1:10 y 1:1000 fueron incontables, lo que quiere decir que hubo gran crecimiento de colonias en todo el medio.

TABLA XI  
 MEDIOS DE CULTIVOS PARA DETERMINAR LAS UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS PARA EL ESTIERCOL DE OVEJA

Unidades formadoras de colonias UFC				
Medios de cultivo/Concentración	1:10	1:100	1:1000	1:10000
EMB Agar, Levine	143	123	27	12
Salmonella Shigella Agar	112	91	28	6
MacConkey Agar	Incontable	93	Incontable	2
Bile Esculin Agar	1	12	1	7

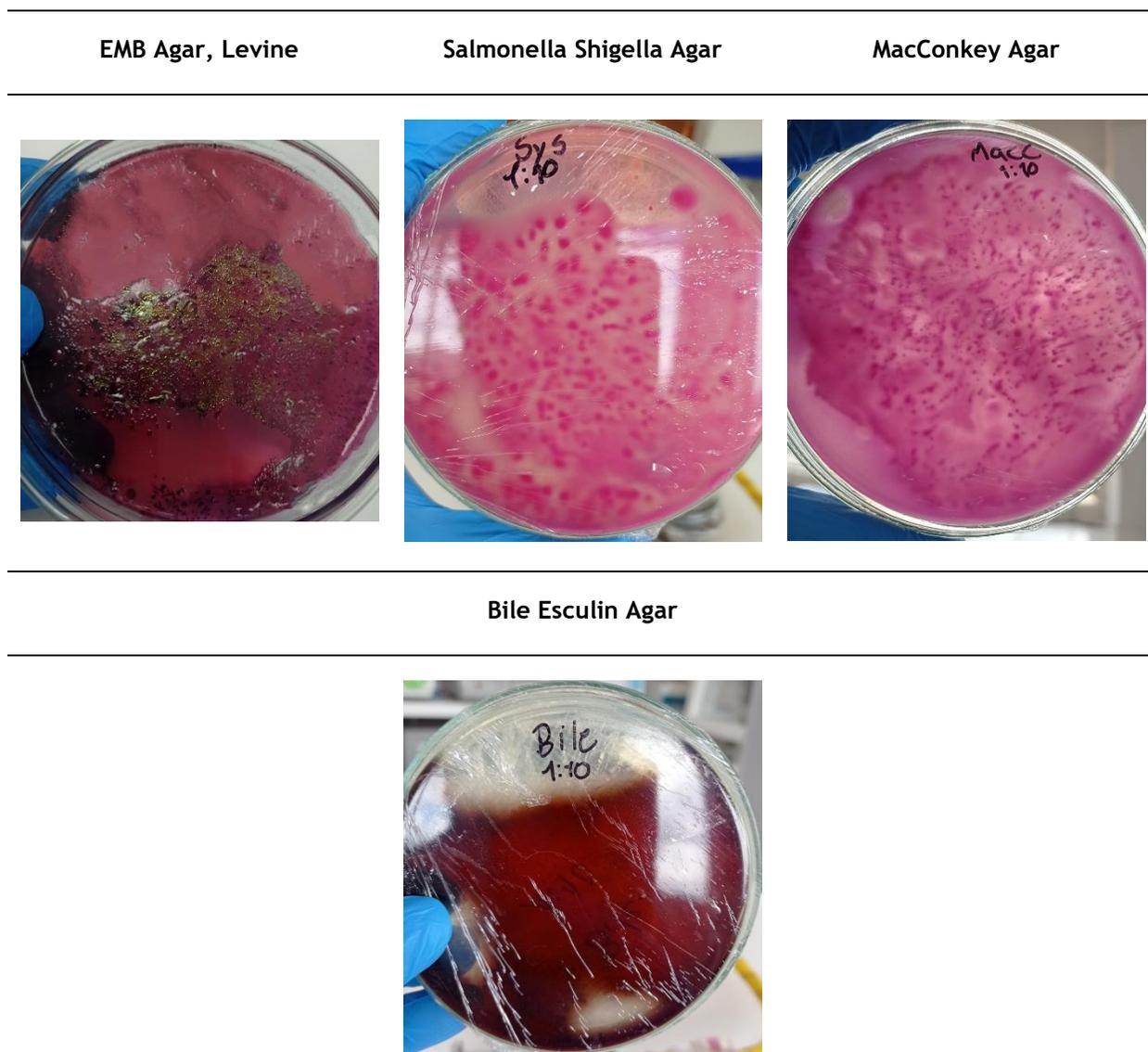


Fig. 16. Crecimiento de colonias en cada medio de cultivo.

**Resultados de cada medio de cultivo por muestra de cada paca biodigestora realizada con estiércol**

La Fig. 17. y la TABLA XII, muestran los resultados del crecimiento microbiológico en cada uno de los medios, en el que son presentadas que para el crecimiento de colonias en el medio EMB Agar, Levine, exhibe una coloración verde metálico indicando la presencia de *Escherichia coli* debido a la rápida fermentación de la lactosa; los resultados del número de unidades formadoras de colonias (UFC), para la paca PB3CE presentes en los medios EMB Agar Levine, Bile Esculin Agar, MacConkey Agar y Salmonella Shigella, en todas las diluciones fue de fácil conteo, indicando bajo crecimiento, mientras que en la dilución 1:10000 no hubo crecimiento en los medios pasadas 24 horas de incubación, en las 48 horas se presentó crecimiento en el medio MacConkey Agar ver ANEXOS, TABLA XLIII.

Los resultados microbiológicos para las pacas biodigestoras PB1CE y PB2CE, se evidencian en los ANEXOS TABLAS XLI a XLII.

TABLA XII  
MEDIOS DE CULTIVOS PARA DETERMINAR LAS UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS, PB3CE

		Unidades formadoras de colonias UFC			
Medios de cultivo/Concentración		1:10	1:100	1:1000	1:10000
PB3CE (24H)	EMB Agar, Levine	173	13	3	0
	Salmonella Shigella Agar	30	9	2	0
	MacConkey Agar	153	57	23	0
	Bile Esculin Agar	67	49	5	0

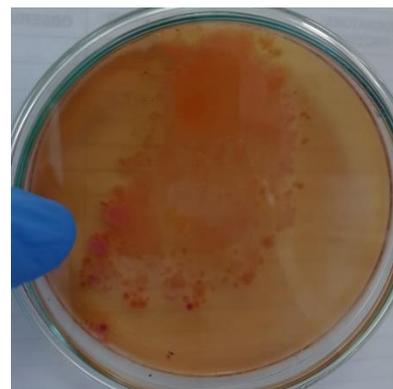
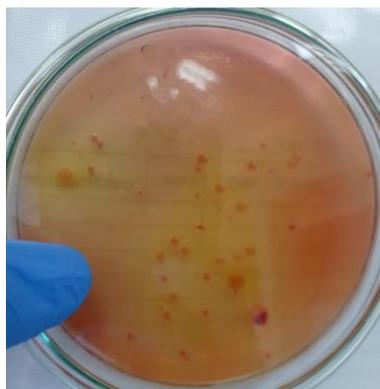
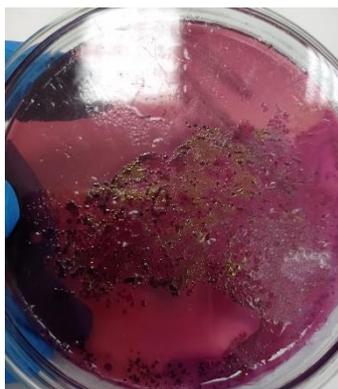
---

EMB Agar, Levine

Salmonella Shigella Agar

MacConkey Agar

---



---

**Bile Esculin Agar**


---




---

 Fig. 17. Crecimiento de colonias en cada medio de cultivo para la paca PB3CE
 

---

**Resultados de cada medio de cultivo por muestra de cada paca biodigestora realizada con tratamiento biotecnológico**

La Fig. 18 y la TABLA XIII, muestran los resultados del crecimiento microbiológico en cada uno de los medios, en el que son presentadas que para el crecimiento de colonias en el medio Salmonella Shigella Agar, exhibe una coloración negra indicando la producción de ácido sulfhídrico; en el medio MacConkey Agar se perciben colonias de color rosa indicando colonias capaces de fermentar carbohidratos. De igual manera las unidades formadoras de colonias (UFC) presentes en los medios EMB Agar Levine, Salmonella Shigella Agar, Bile Esculin Agar y MacConkey Agar, fue fácil de contar en el periodo de incubación de 12, 24 y 48 horas. Para las incubaciones de 12 y 48 horas, (ver ANEXOS TABLA XLIV), donde se puede observar el aumento en el crecimiento, mientras que para el medio de cultivo Bile Esculin Agar en las diluciones 1:10 y en el conteo de las 24 y 48 horas fue incontable, lo que quiere decir que hubo gran crecimiento de colonias en todo el medio.

TABLA XIII  
 MEDIOS DE CULTIVOS PARA DETERMINAR LAS UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS, PBMCR  
 Unidades formadoras de colonias UFC

	Medios de cultivo/Concentración	Unidades formadoras de colonias UFC			
		1:10	1:100	1:1000	1:10000
PBMCR (24H)	EMB Agar, Levine	95	91	11	0
	Salmonella Shigella Agar	217	96	6	0
	MacConkey Agar	144	84	34	0
	Bile Esculin Agar	Incontable	123	36	7

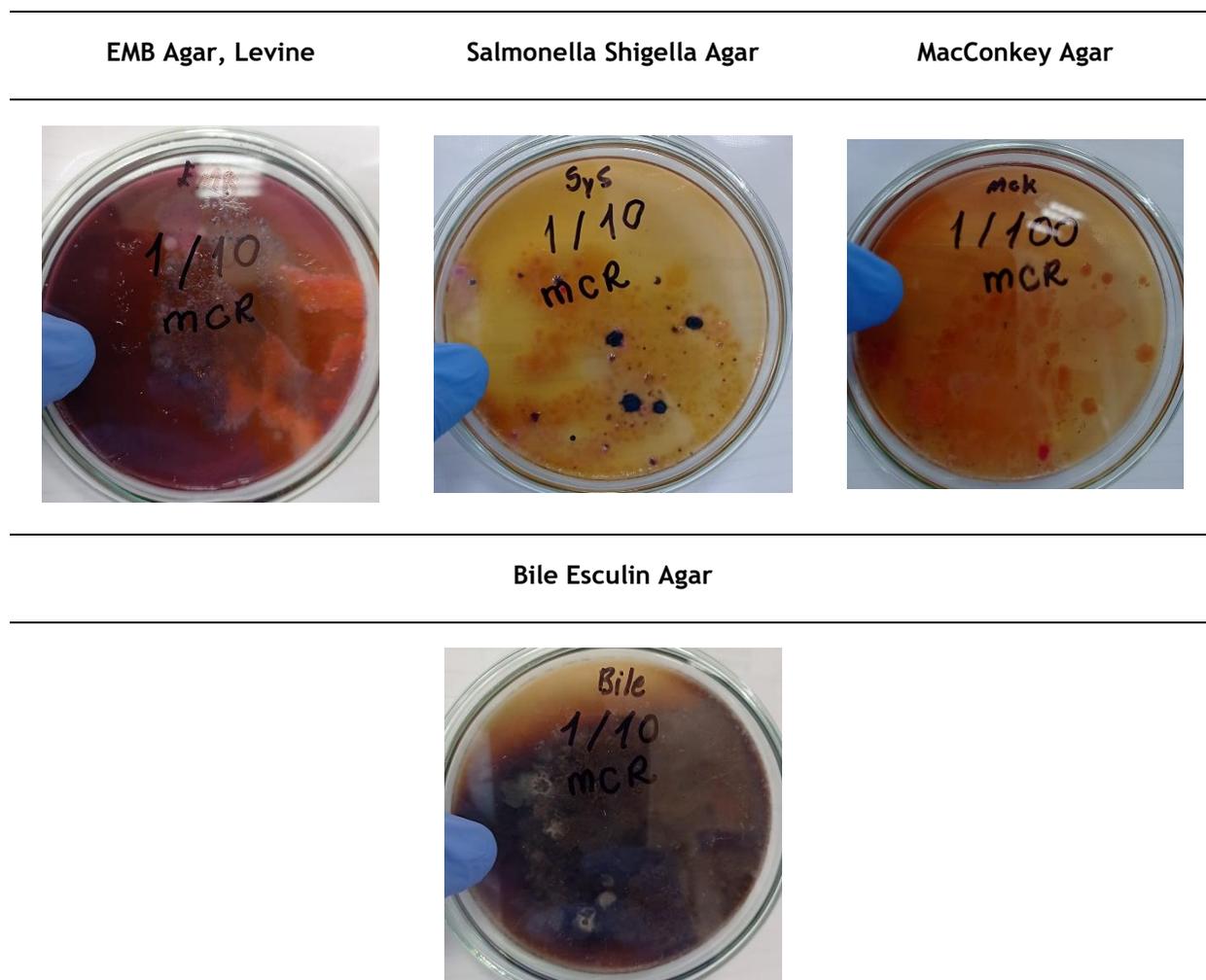


Fig. 18. Crecimiento de colonias en cada medio de cultivo para la paca PBMCR

#### Resultados análisis de fluorescencia de Rayos-X

Los datos correspondientes al análisis por fluorescencia de Rayos-X, reportados en esta sección se midieron con un Affordable, High-performance Benchtop EDXRF Analyzer marca NEX QC+.

#### Resultados del análisis por fluorescencia de Rayos-X para cada paca biodigestora realizada sin microorganismos

Los resultados para las pacas biodigestoras PB1SM, PB2SM, PB4SM y PB5SM se evidencian en los ANEXOS, Fig. 37. a 40.

En la Fig. 19. se observan los porcentajes de cada uno de los elementos de interés presentes en la paca PB3SM, donde se evidencia que no hay presencia de magnesio, fósforo y mercurio; hay presencia en gran proporción de potasio seguido de calcio y sodio, y en menor proporción el cloro.

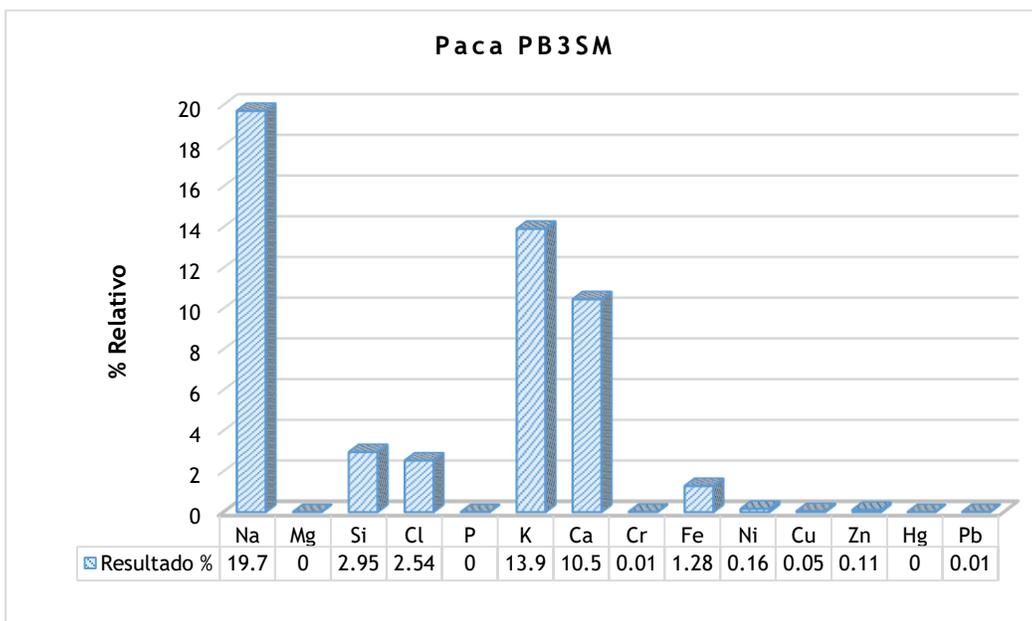


Fig. 19. Porcentaje relativo de cada uno de elementos presentes en la paca biodigestora PB3SM analizados

**Resultados del análisis por fluorescencia de Rayos-X para cada paca biodigestora realizada con estiércol**

Los resultados para las pacas biodigestoras PB1CE y PB2CE, se evidencian en los ANEXOS, Fig. 41. a 42.

En la Fig. 20. se observan los porcentajes de cada uno de los elementos presentes en la paca PB3CE donde se evidencia que no hay presencia de sodio, magnesio, fósforo, cromo y mercurio; hay presencia en gran proporción de calcio seguido de potasio y menor proporción de cloro.

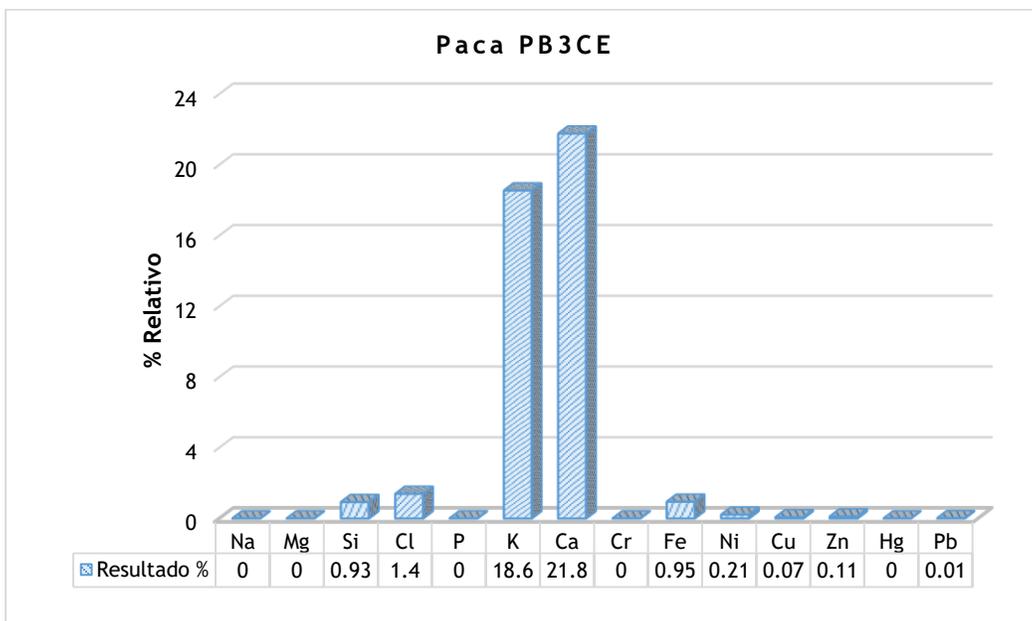


Fig. 20. Porcentaje de cada uno de elementos presentes en la paca biodigestora PB3CE analizados

### Resultados del análisis por fluorescencia de Rayos-X para cada paca biodigestora realizada con el proceso biotecnológico

Los resultados para las pacas biodigestoras PB1MCR y PB3MCR, se evidencian en los ANEXOS, Fig. 43. a 44.

En la Fig. 21. se observan los porcentajes de cada uno de los elementos presentes de una de las muestras ya procesadas como producto final, codificada como PB2MCR, donde se evidencia que no hay presencia de sodio, magnesio, fósforo y mercurio; hay presencia en gran proporción de calcio, potasio, silicio seguido del hierro y en menor proporción de cloro.

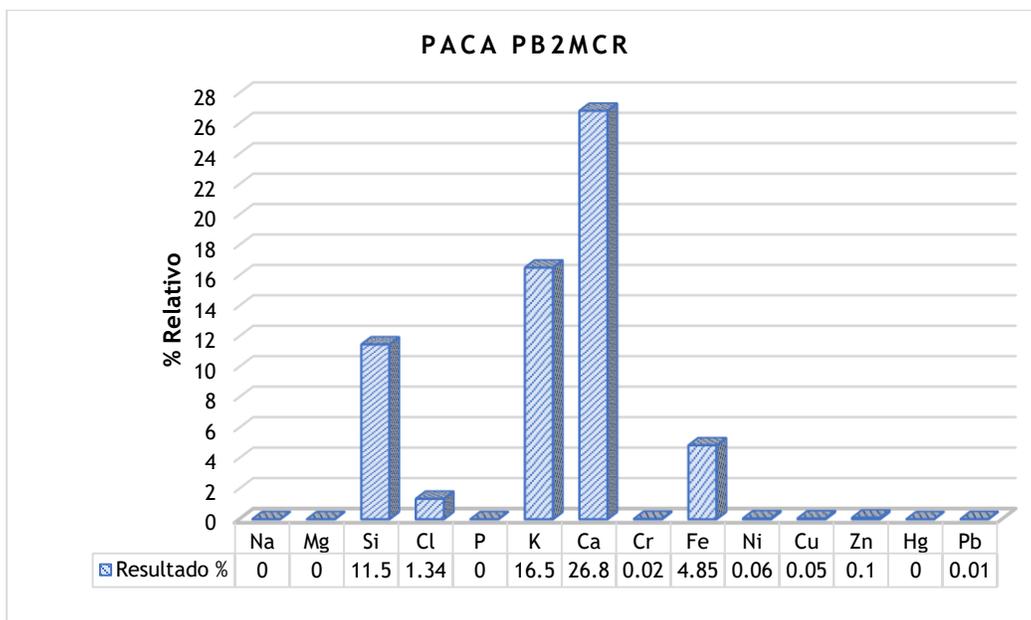


Fig. 21. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PB2MCR analizados.

### Resultados del análisis por fluorescencia de Rayos-X para la paca realizada en un periodo de 1 año

En la Fig. 22. se observan los porcentajes de cada uno de los elementos presentes de una paca biodigestora realizada hace 1 año, codificada como PB1AÑO, donde se evidencia presencia en gran proporción de silicio, calcio, potasio y hierro; no hay presencia de fósforo, magnesio, níquel, zinc y plomo.

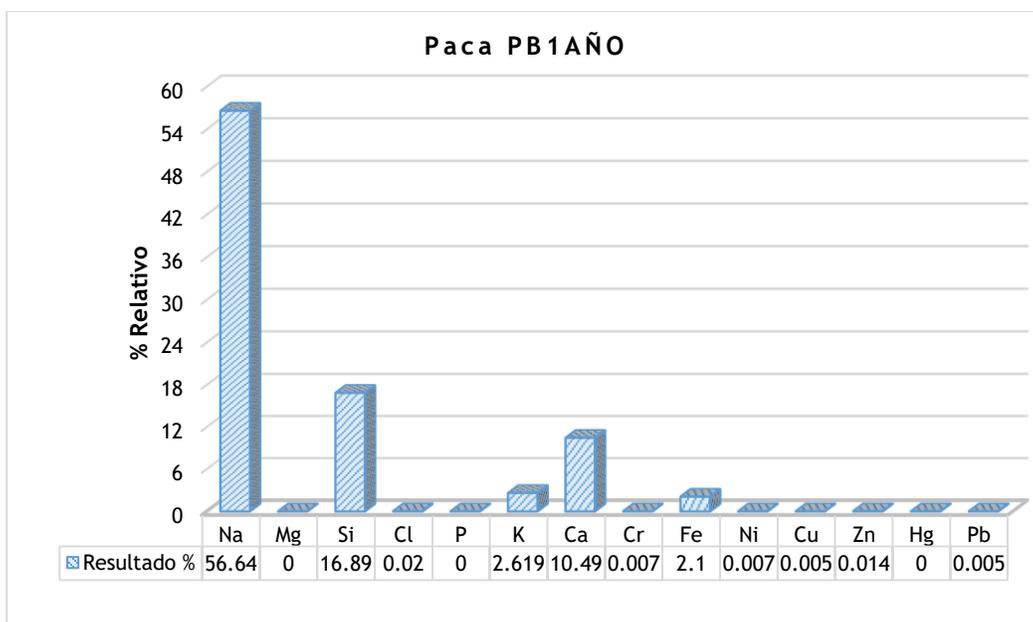


Fig. 22. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PB1AÑO

#### Resultados análisis de la espectroscopia de absorción atómica

Los datos correspondientes al análisis por la espectroscopia de absorción atómica reportados en esta sección se midieron con un equipo Atomic Absorption Spectrometer AAnalyst 400, marca PerkinElmer. Siguiendo el proceso de análisis reportado en la NTC 5167, en el que nos indica que se debe pesar un aproximado de 5 gr de muestra adicionándole 35 ml de HCl: HNO<sub>3</sub> en una proporción (3:1), llevándolo a calentamiento hasta que evapore y llegue a estado seco; se adicionan 15 ml de agua regia, mezclar mientras se calienta de nuevo y dejar enfriar, se adicionan 100 ml de agua destilada y se filtra empleando el papel filtro previamente pesado, se lava el papel de filtro con agua destilada y se procede a secar junto con el residuo en una estufa a 80°C hasta obtener un peso constante. Se debe filtrar a 250 ml de agua destilada para cuantificar contenidos de potasio, fosforo, calcio y magnesio [26].

En las Fig. 23. a 25. se pueden observar la concentración de cada elemento presente en las pacas biodigestoras en partes por millón (ppm)(mg/L).

**Resultados del análisis por espectroscopia de absorción atómica para la paca biodigestora realizada sin estiércol**

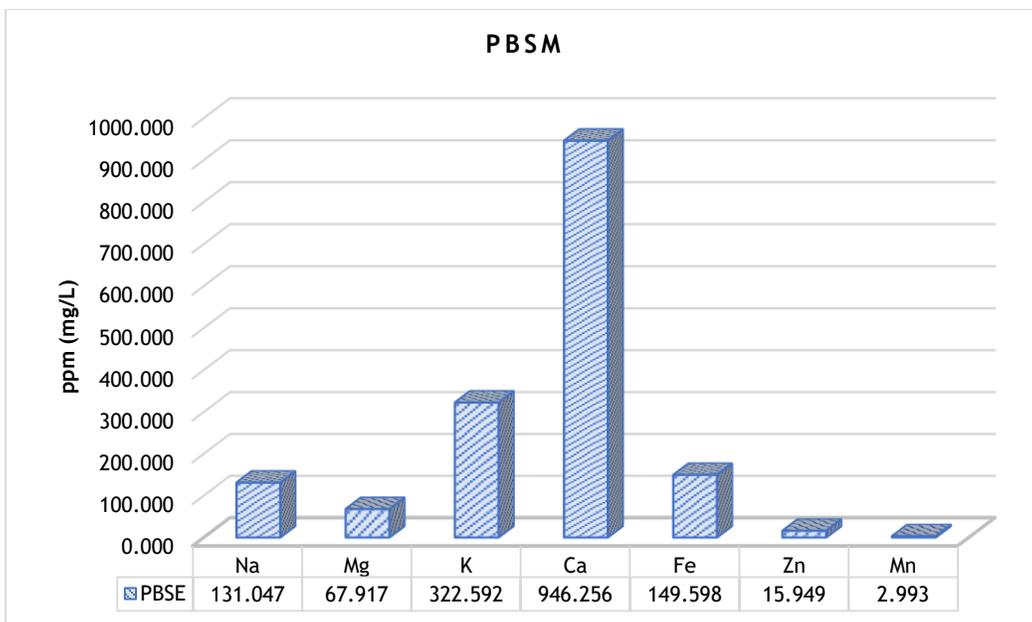


Fig. 23. Partes por millón (ppm) para cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBSM

**Resultados del análisis por espectroscopia de absorción atómica la paca biodigestora realizada con estiércol**

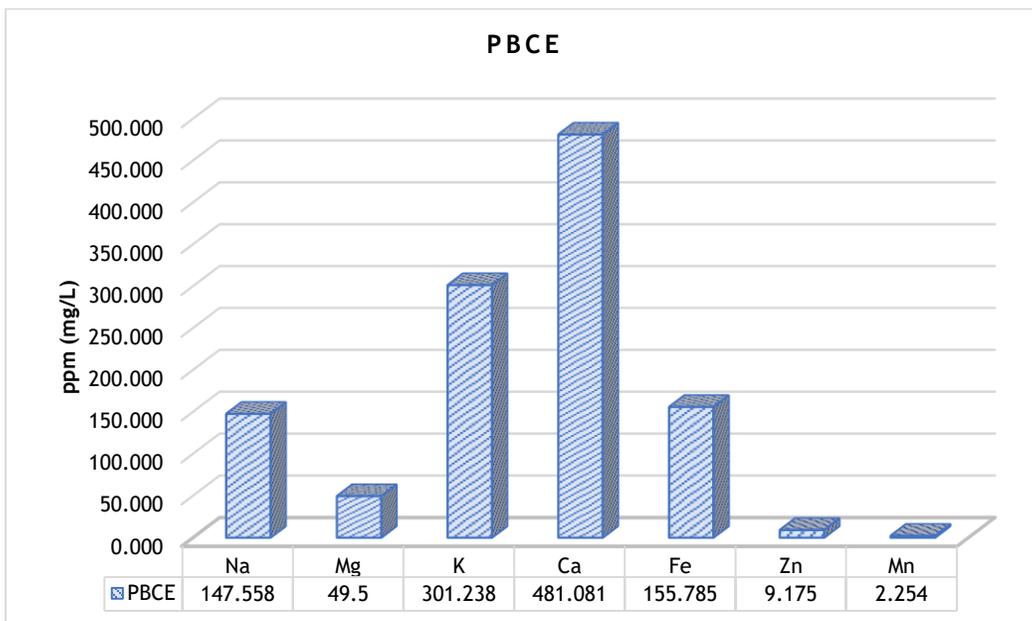


Fig. 24. Partes por millón (ppm) para cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBCE

## Resultados del análisis por espectroscopia de absorción atómica para la paca biodigestora realizada con microorganismos

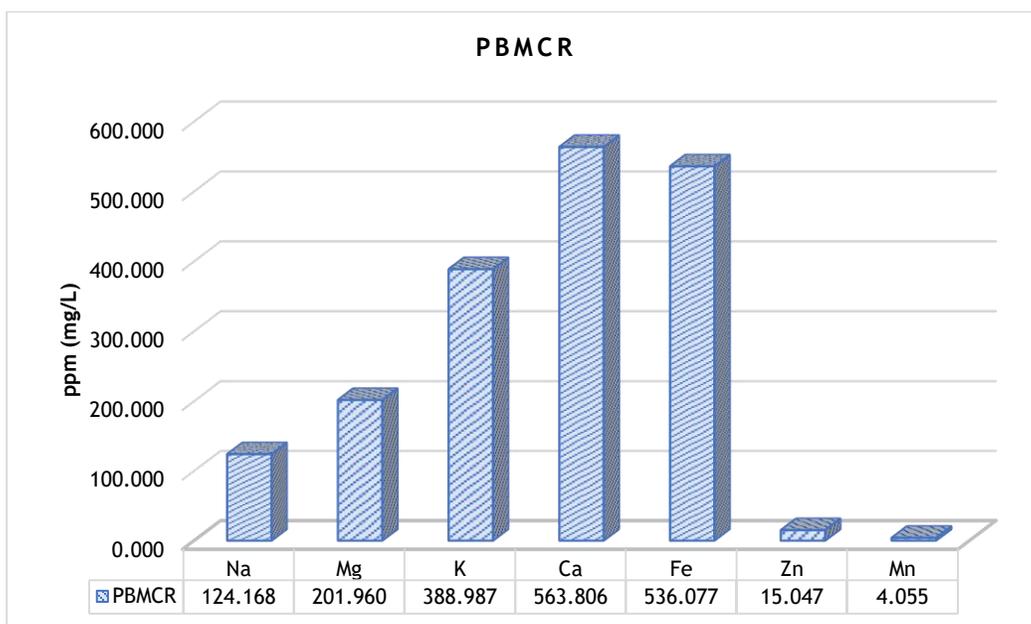


Fig. 25. Partes por millón (ppm) para cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBMCR

Según los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo por absorción atómica, se puede concluir que todos los métodos son equivalentes en la fijación de micronutrientes (Na, K, Ca y Zn), por lo que no se puede atribuir una mejor fijación significativa del proceso biotecnológico implementado para estos metales. Pero, si se percibe una mejor fijación de hierro (Fe) con el método biotecnológico.

### IMPACTO SOCIOECONÓMICO

En la TABLA XIV, se muestra el análisis financiero del costo de disposición final de los residuos orgánicos del Municipio de Iza-Boyacá, este se realizó con los datos aportados por el ente territorial para los años 2021 y 2022 teniendo en cuenta costos de transporte desde el municipio hasta el Relleno Sanitario Parque Ecológico y Tecnológico de Pírgua, mano de obra para la recolección de los residuos, números de viajes al mes que realizan para su disposición final. Donde se identificó que en promedio se producen 165.38 toneladas de basura de las cuales el 40% corresponden a materia orgánica, por lo tanto, se generan 66 toneladas de residuos orgánicos por año. Esta cantidad de residuos tiene un costo de disposición final en el Relleno Sanitario Parque Ecológico y Tecnológico de Pírgua -Tunja de ochenta y dos millones ciento ochenta y cinco mil trescientos noventa pesos (\$82,185,390). Al implementar el proceso de pacas digestoras convencional (sin microorganismos), el municipio tiene un ahorro de veintitrés millones cuatrocientos sesenta y cuatro mil diez pesos (\$23,464,010). Adicionalmente, si se comercializa el abono orgánico obtenido se puede generar un ingreso de veintisiete millones setecientos veinte mil pesos (\$27,720,000); por lo tanto, se puede generar un ahorro total de cincuenta y un millones ciento ochenta y cuatro mil diez pesos (\$51,184,010) para el municipio.

TABLA XIV  
ANÁLISIS DE LOS COSTOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN RELLENO  
SANITARIO

Disposición de residuos en relleno sanitario					
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Insumo	Material	Personal
<b>Disposición final</b>					
Disposición final relleno sanitario	Ton	66	\$ 69,087	\$ 4,559,742	
<b>Transporte</b>					
Transporte Residuos Organicos	Viajes	12	\$ 636,666	\$ 7,639,992	
<b>Mano de obra</b>					
Trabajadores (jornal + prestaciones)	Mes	12	\$ 5,832,138		\$ 69,985,656
<b>Costo directo</b>			<b>\$ 82,185,390</b>	<b>\$ 12,199,734</b>	<b>\$ 69,985,656</b>

En la TABLA XV, encontramos el análisis financiero para el proceso de pacas digestoras sin implementación biotecnológica. Este proceso es llevado a cabo por empresas productoras de abonos orgánicos como RADS-Colombia, en donde la proyección se realizó con la materia orgánica producida por el municipio de Iza, donde se producen 66 toneladas anuales de las cuales sólo se obtiene un 40% de abono correspondiente a 26,4 toneladas, ya que es la única forma de que una empresa como esta pueda recolectar estas cantidades de materia orgánica. Se encontró, que la proyección financiera genera pérdidas por treinta y un millones un mil trescientos ochenta pesos (\$31,001,380); lo que no es rentable para este tipo de empresas, ya que requieren un amplio terreno (220 m<sup>2</sup>) por un largo periodo de tiempo (10 meses), sin posibilidad de duplicar la producción de abono.

TABLA XV  
ANÁLISIS DE COSTOS VS UTILIDADES AL OBTENER EL SUSTRATO SIN TRATAMIENTO BIOTECNOLÓGICO  
Tratamiento paca digestora sin microorganismos

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Insumo	Material	Personal
<b>Transporte</b>					
Transporte Residuos Orgánicos	Viajes	80	\$ 5,000	\$ 400,000	
<b>Mano de obra</b>					
Trabajadores (jornal + prestaciones)	Mes	10	\$ 5,832,138		\$ 58,321,380
<b>Costo directo</b>			<b>\$ 58,721,380</b>	<b>\$ 400,000</b>	<b>\$ 58,321,380</b>
<b>Ingresos</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Insumo	Material	Personal
Incentivo por tratamiento de residuos orgánicos	Ton	66	\$ 20,000	\$ 1,320,000	
Abono final	Ton	26,4	\$ 1,000,000	\$ 26,400,000	
<b>Ingresos</b>			<b>\$ 27,720,000</b>	<b>\$ 27,720,000</b>	<b>\$ -</b>
<b>Utilidad</b>			<b>-\$</b>		<b>31,001,380</b>

En la TABLA XVI, se presenta el análisis financiero correspondiente al proceso de pacas digestoras con tratamiento biotecnológico. En el cual, se obtienen una proyección muy interesante que beneficia a empresas como RADS-Colombia. Puesto que, en un terreno de (220 m<sup>2</sup>) se pueden procesar 2.5 veces más residuos en el mismo periodo de tiempo (10 meses), lo que se traduce en una mayor obtención de abono orgánico, permitiendo percibir más ingresos en los mismo 10 meses. Con la implementación biotecnológica se obtiene una utilidad de ocho millones novecientos treinta y cuatro mil seiscientos veinte pesos (\$8,934,620), lo que representa treinta y nueve millones novecientos treinta y seis mil pesos (\$39,936,000) más de ingresos que con el método convencional.

TABLA XVI  
ANÁLISIS DE COSTOS VS GANANCIAS AL OBTENER EL SUSTRATO CON EL TRATAMIENTO BIOTECNOLÓGICO

Tratamiento paca digestora con microorganismos					
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Insumo	Material	Personal
<b>Insumos</b>					
Microorganismos	Lt	137	\$ 12,000	\$ 1,644,000	
<b>Transporte</b>					
Transporte Residuos Orgánicos	Viajes	80	\$ 5,000	\$ 400,000	
<b>Mano de obra</b>					
Trabajadores (jornal + prestaciones)	Mes	10	\$ 5,832,138		\$ 58,321,380
<b>costo directo</b>			<b>\$ 60,365,380</b>	<b>\$ 2,044,000</b>	<b>\$ 58,321,380</b>
<b>Ingresos</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Insumo	Material	Personal
Incentivo por tratamiento de Residuos Orgánicos	Ton	165	\$ 20,000	\$ 3,300,000	
Abono final	Ton	66	\$ 1,000,000	\$ 66,000,000	
<b>Ingresos</b>			<b>\$ 69,300,000</b>	<b>\$ 69,300,000</b>	<b>\$ -</b>
<b>Utilidad</b>					<b>\$ 8,934,620</b>

Con este análisis financiero, se puede concluir que el negocio de producción de abono orgánico para el departamento de Boyacá, que produce 13500 toneladas de residuos solido donde un 40% corresponden a materia orgánica, puede representar ingresos mensuales superiores a los dos mil millones de pesos (\$2.000.000.000); generando 2160 toneladas de abono orgánico con macro y micro nutrientes óptimos, que contribuyen a las nuevas tendencias de agricultura regenerativa que se están adelantando a nivel mundial en países desarrollados como Alemania, España y Países Bajos entre otros [7].

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estos resultados comprueban que el método de fluorescencia de Rayos-X, es adecuado para la identificación de los metales de interés en un matriz compleja como lo es el suelo. Ya que el método de fluorescencia de Rayos-X, excita los electrones internos de cada átomo sin importar si es de origen orgánico o inorgánico, por lo que es un método que puede ser usado para cuantificar ya que permite realizar este tipo de análisis si se cuenta con estándares adecuados. De esta manera se puede cuantificar mejor los componentes metálicos y no metálicos, que se pueden perder por volatilización con el método convencional de absorción atómica; dado que, el método de fluorescencia no requiere un tratamiento previo de la muestra ni una digestión ácida.

Podemos concluir que método de fluorescencia de Rayos-X, resulto ser adecuado para la identificación de los metales de interés (Na, K, Ca, Fe, Zn); puesto que, al medir las energías de los electrones de los niveles atómicos más bajos de los elementos químicos, dado que sus energías son únicas para cada átomo de la tabla periódica, permite identificarlos con alta precisión. Al relacionar los resultados obtenidos con el método convencional absorción atómica, podemos ver que las relaciones porcentuales están muy cercanas; y las posibles diferencias se atribuyen a que no se implementó un método de cuantificación por curva de calibración en el método de fluorescencia. Pero, se sugiere que se siga investigando la implementación de este método con este enfoque, ya que de ser posible cuantificar por el método de fluorescencia se estaría aportando un método de bajo costo, de corto tiempo de análisis; que representaría un ahorro en costos para los agricultores.

### Análisis del resultado por espectroscopia de absorción atómica (AbsA) Vs Fluorescencia de Rayos X para la paca biodigestora sin estiércol.

A continuación, se presentan los resultados de identificación de metales (Na, K, Ca, Fe, Zn); por las dos técnicas ya mencionadas, los valores reportados se dan en porcentajes relativos, TABLAS XVII a XIX y Fig. 26. a 28. Donde se encontró una buena relación entre los dos métodos en cada caso.

TABLA XVII  
REPORTE PORCENTUAL RELATIVO DE ELEMENTOS ANALIZADOS PARA LA PACA PBSM EN FRX Vs AbsA

Método	FRX	AbsA
Elemento/Muestra	PBSM	PBSM
Na	21.47	8.01
Mg	0.00	4.15
K	13.16	19.71
Ca	13.49	57.83
Fe	1.06	9.14
Zn	0.10	0.97
Mn	0.00	0.18

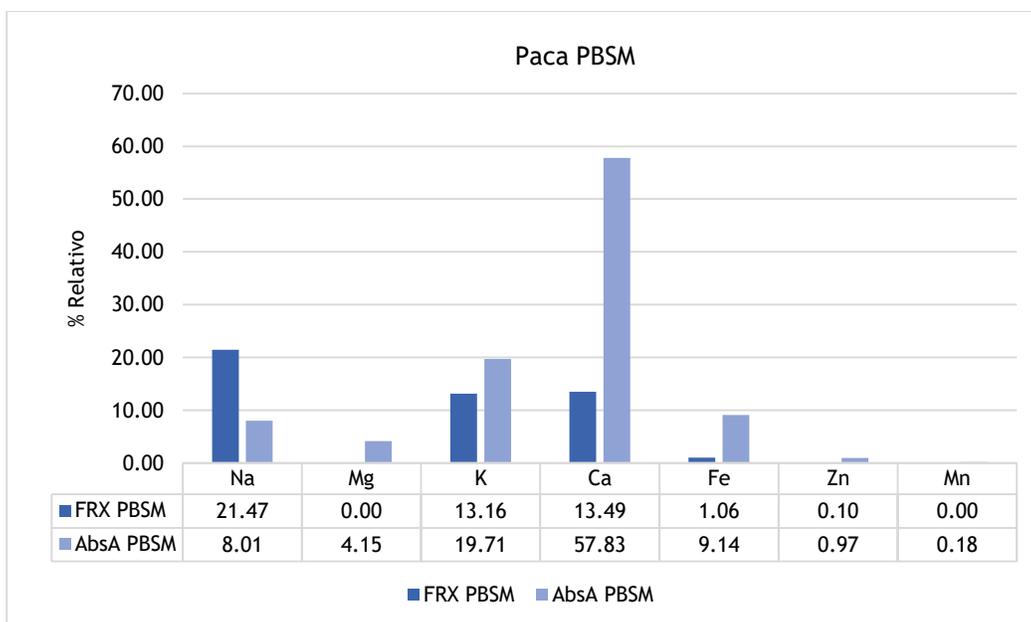


Fig. 26. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBSM en FRX Vs AbsA

**Análisis del resultado por espectroscopia de absorción atómica Vs Fluorescencia de rayos X para la paca biodigestora sin estiércol**

TABLA XVIII  
 REPORTE PORCENTUAL RELATIVO DE ELEMENTOS ANALIZADOS PARA LA PACA PBCE EN FRX Vs AbsA

Método	FRX	AbsA
Elemento/Muestra	PBCE	PBCE
Na	39.82	12.87
Mg	0.00	4.32
K	12.92	26.27
Ca	9.32	41.96
Fe	0.38	13.59
Zn	0.06	0.80
Mn	0.00	0.20

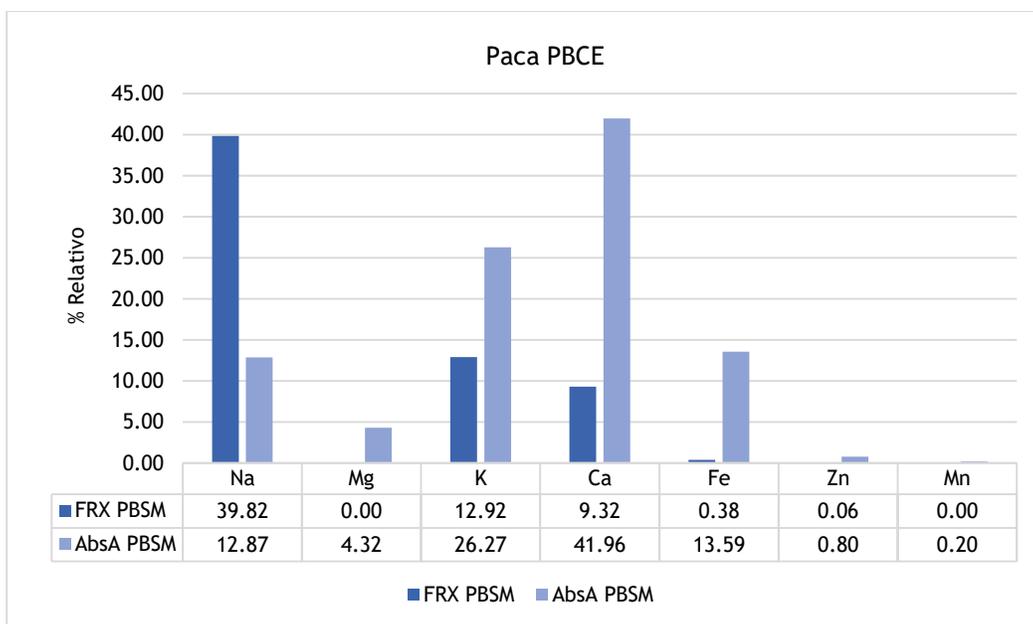


Fig. 27. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBCE en FRX Vs AbsA

**Análisis del resultado por espectroscopia de absorción atómica Vs Fluorescencia de rayos X para la paca biodigestora con microorganismos**

TABLA XIX  
 REPORTE PORCENTUAL RELATIVO DE ELEMENTOS ANALIZADOS PARA LA PACA PBMCR EN FRX Vs AbsA

Método	FRX	AbsA
Elemento/Muestra	PBMCR	PBMCR
Na	28.90	6.77
Mg	0.00	11.01
K	12.92	21.21
Ca	20.51	30.74
Fe	2.87	29.23
Zn	0.06	0.82
Mn	0.00	0.22

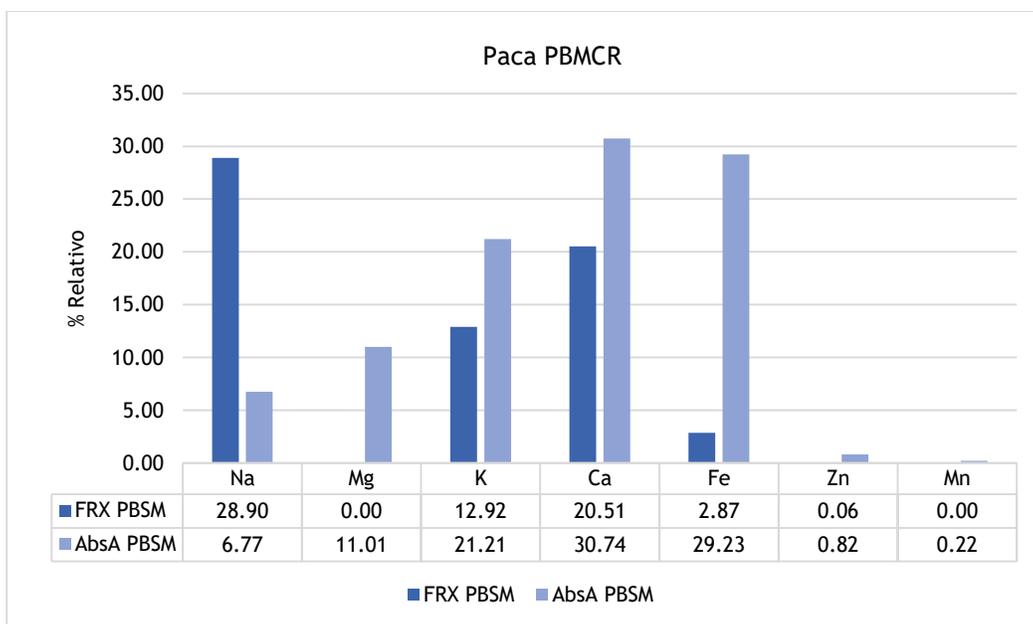


Fig. 28. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la paca biodigestora PBMCr en FRX Vs AbsA

A continuación, en la TABLA XX y Fig. 29. se hace el reporte general para las tres metodologías de paca estudiadas en este trabajo; en donde, podemos ver una diferencia significativa en porcentajes, esto se debe a que son porcentajes relativos. Pero, las tendencias en los dos métodos de análisis son muy similares. Lo que nos permite plantear como sugerencia para futuras investigaciones, la estandarización y validación del método de fluorescencia de Rayos-X, para medir metales en muestras de abono y tierra; que puedan sustituir a los métodos convencionales que usan gran cantidad de reactivos nocivos como ácidos inorgánicos fuertes, y largos tiempos de procesamiento y análisis de muestras.

TABLA XX  
 REPORTE PORCENTUAL RELATIVO DE ELEMENTOS ANALIZADOS PARA LAS PACAS BIODIGESTORAS PBSM, PBCE y PBMCR EN FRX Vs absa

Método	FRX			AbsA		
Elemento/Muestra	PBSM	PBCE	PBMCR	PBSM	PBCE	PBMCR
Na	21.47	39.82	28.90	8.01	12.87	6.77
Mg	0.00	0.00	0.00	4.15	4.32	11.01
K	13.16	12.92	12.92	19.71	26.27	21.21
Ca	13.49	9.32	20.51	57.83	41.96	30.74
Fe	1.06	0.38	2.87	9.14	13.59	29.23
Zn	0.10	0.06	0.06	0.97	0.80	0.82
Mn	0.00	0.00	0.00	0.18	0.20	0.22

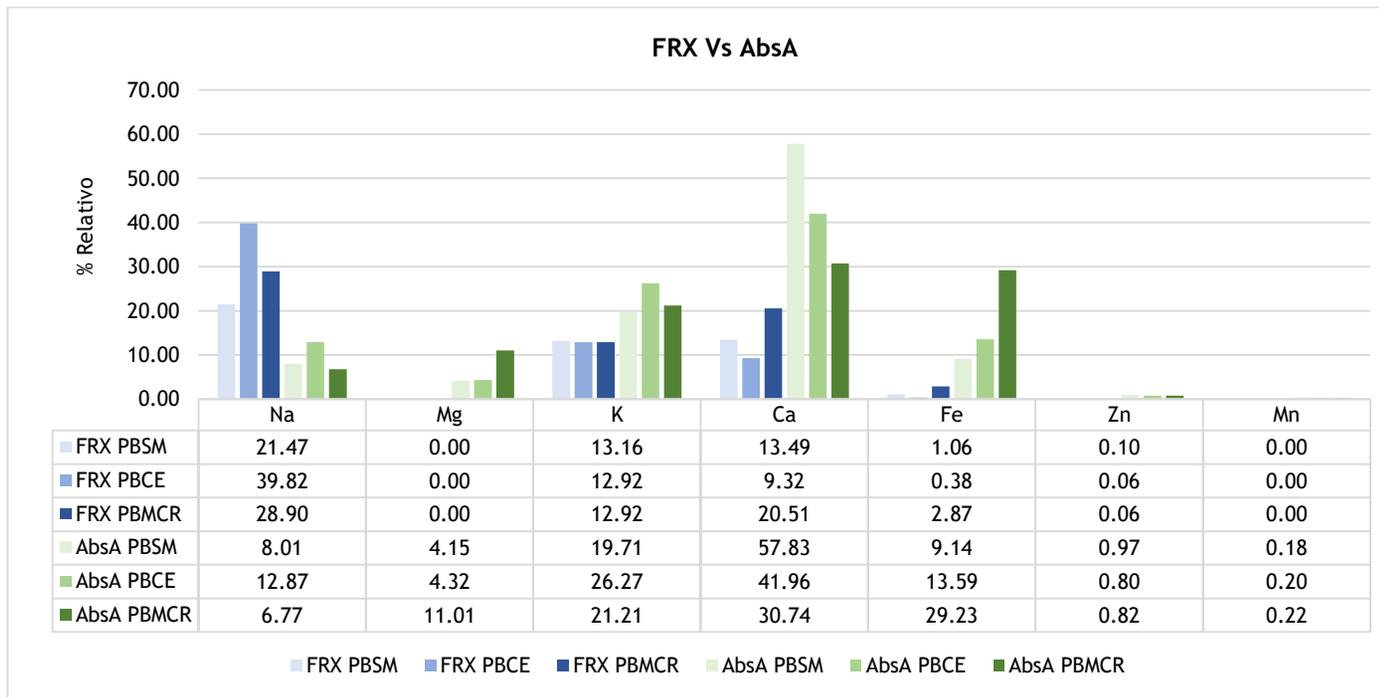


Fig. 29. Porcentaje de cada uno de los elementos presentes en las pacas biodigestoras PBSM, PBCE y PBMCR en FRX Vs AbsA

### Análisis de resultados microbiológicos

A continuación, se realiza el reporte promediado de las unidades Formadoras de colonias UFC para las diferentes pacas analizadas, incluyendo la muestra control que corresponde a la materia orgánica fresca. Encontrando que la muestra control (MC) contiene microorganismos patógenos como se ve en la TABLA XXI, estos microorganismos patógenos son los mismo se encontraron nuevamente en la paca que no tubo incorporación de microorganismos (PBSM).

En la paca elaborada con estiércol (PBCE), fueron encontrados microorganismos patógenos tanto en el estiércol usado como en el producto final. En el caso de la paca con tratamiento biotecnológico, las pruebas bioquímicas dan un resultado positivo, pero las cajas de Petri no presentan las colonias con coloraciones características; por tal razón, este cambio de coloración es atribuido a las bacterias especializadas ya que poseen rutas metabólicas similares con los microorganismos patógenos.

TABLA XXI  
RESUMEN PRUEBAS BIOQUÍMICAS  
Resumen pruebas bioquímicas

Microorganismo	MC	PBSM	PBCE	PBMCR
<i>Salmonella Typhimurium</i>	-	+	+	-
<i>Salmonella y Shigella</i>	+	+	+	-
<i>Shigella flexneri</i>	+	+	+	-
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	-

A continuación, en las Fig. 30. a 33, se presentan los promedios obtenidos relacionados con las UFC para cada medio de cultivo. Encontrando que, la mayor cantidad de UFC se presenta en la muestra control y disminuye en las pacas dado que las temperaturas máximas alcanzadas en el proceso de descomposición en las pacas alcanzaron los 50°C, lo que inhibe el crecimiento de los microorganismos patógenos. Adicionalmente los procesos fermentativos producto del proceso de descomposición alteran el pH, disminuyendo la capacidad de reproducción de los patógenos. Para la prueba bioquímica del agar Bile Esculin, se puede decir que en todos los procesos se generó ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), como subproducto metabólico.

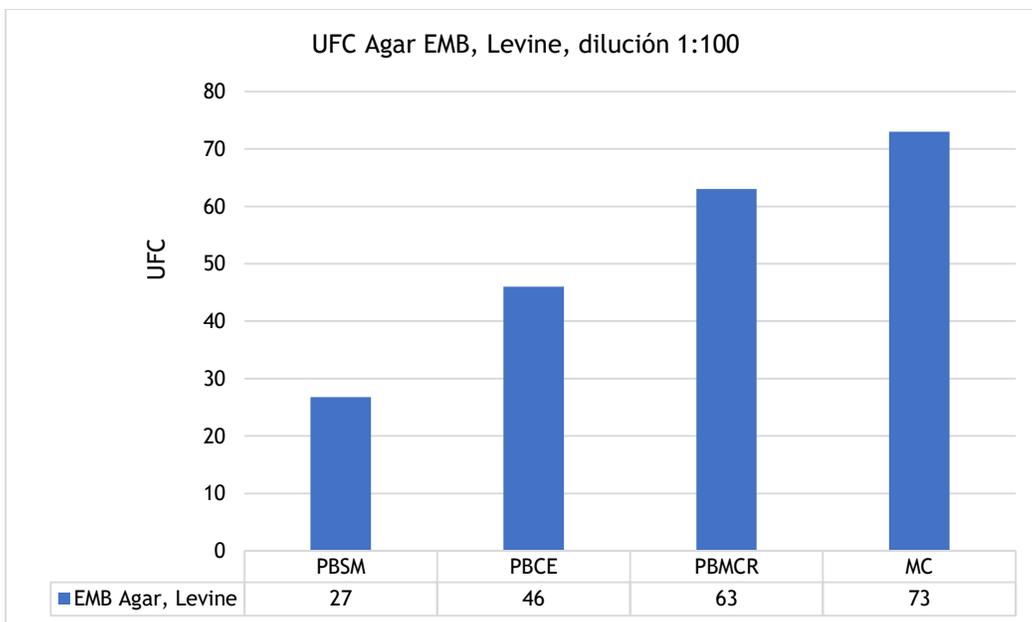


Fig. 30. Unidades formadoras de colonias para el medio de cultivo EMB Agar, Levine, en una dilución 1:100

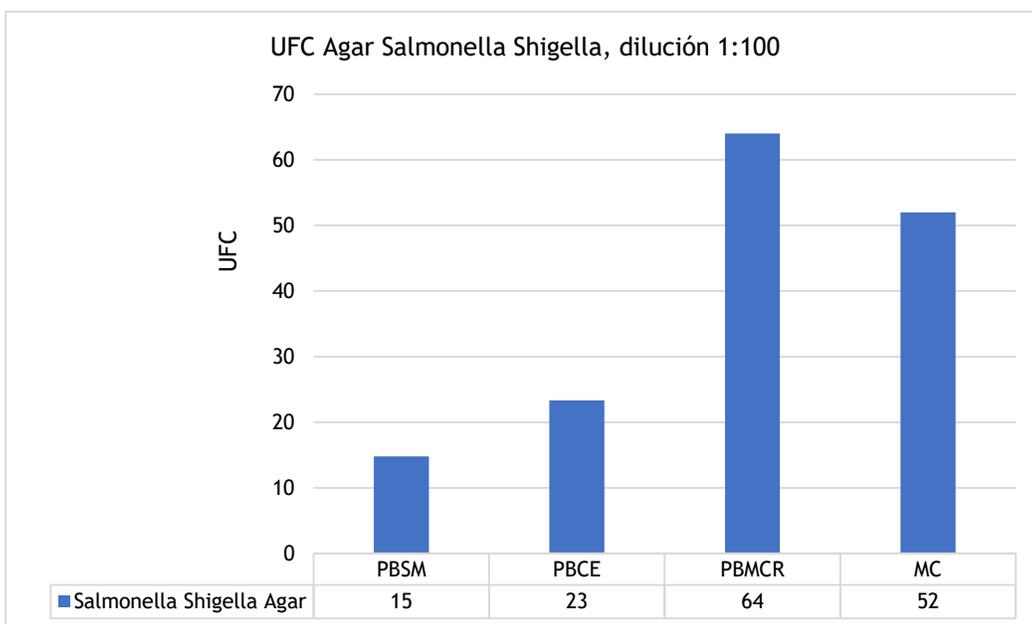


Fig. 31. Unidades formadoras de colonias para el medio de cultivo Salmonella Shigella Agar, en una dilución 1:100

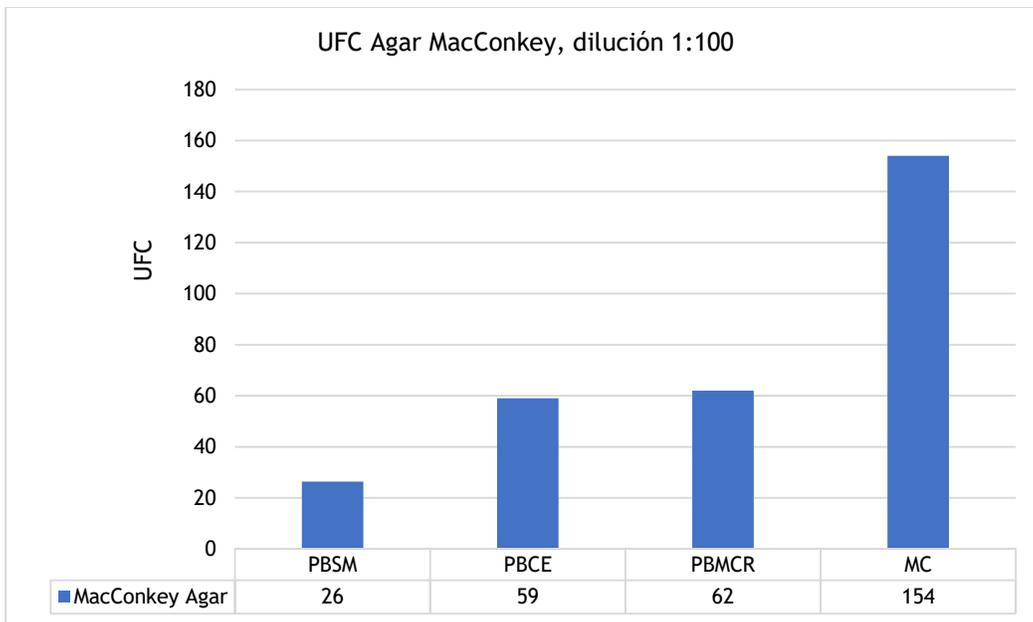


Fig. 32. Unidades formadoras de colonias para el medio de cultivo MacConkey Agar, en una dilución 1:100

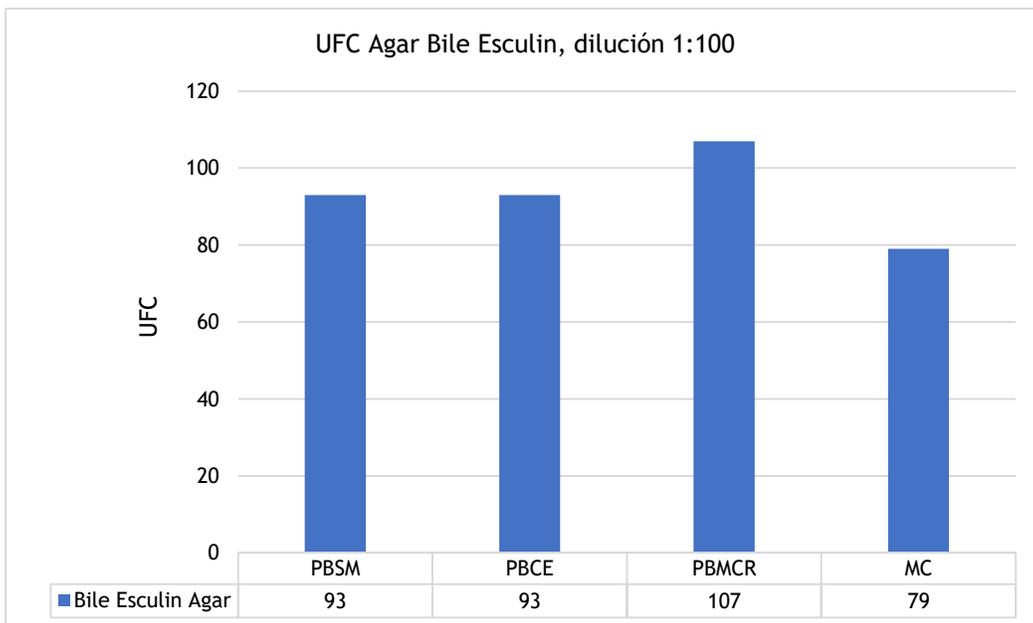


Fig. 33. Unidades formadoras de colonias para el medio de cultivo Bile Esculin Agar, en una dilución 1:100

**Pruebas bioquímicas sin inocular**

En la Fig. 34. se evidencian las coloraciones percibidas al inicio de las pruebas bioquímicas para cada uno de los medios sin ser inoculados con cada muestra a inocular.

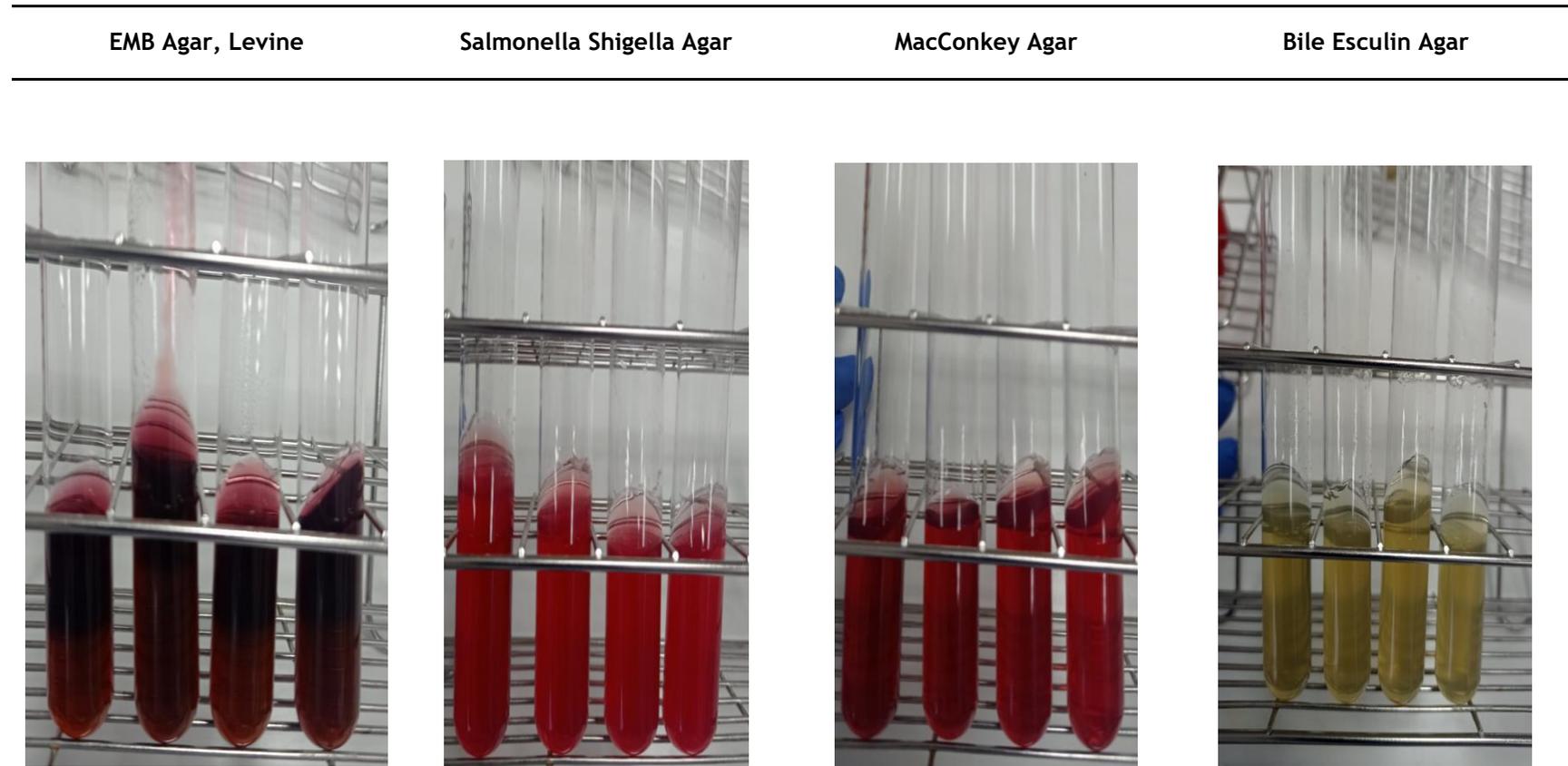


Fig. 34. Pruebas bioquímicas sin inocular

### Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para la muestra control

En la TABLA XXII, son presentadas las pruebas bioquímicas realizadas a la MC, se efectuaron a partir de 25 gr de muestra en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10 siendo reportados a continuación. Para las diluciones 1:100, 1:1000 y 1:10000, se reportan en los ANEXOS TABLAS XLV a XLVII.

TABLA XXII  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA PARA MC, DILUCIÓN 1:10

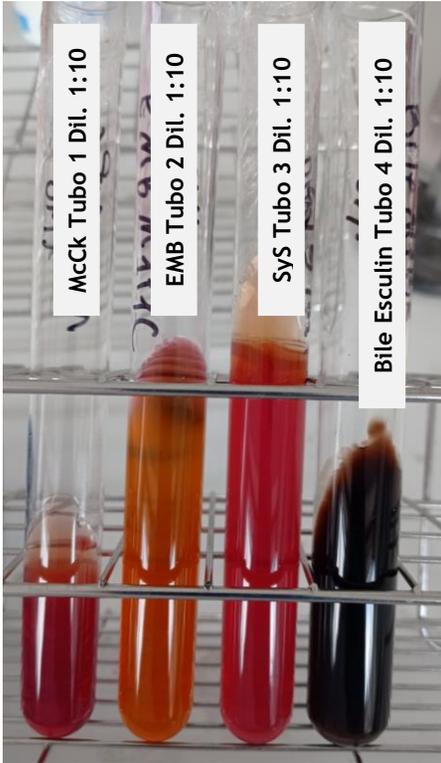
Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestracontrol (MC), contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos una coloración ámbar transparente característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> .
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestracontrol (MC), contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 2 donde se tiene la dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> y se evidencia una coloración rojo anaranjado la cual es característica de la presencia de <i>Salmonella Typhimurium</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestracontrol (MC), contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 3 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ligeramente rosa característico para una prueba positiva de <i>Escherichia coli</i> .
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin. Podemos concluir que la muestracontrol (MC), contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 4 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: las pruebas bioquímicas realizadas para esta muestra con dilución 1:10 dio positivo en cada uno de los medios utilizados, permitiendo identificar los microorganismos presentes.

## Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para cada paca biodigestora realizada sin microorganismos

En la TABLA XXIII, son presentadas las pruebas bioquímicas realizadas a la paca PB1SM, se efectuaron a partir de 50 gr de muestra en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10, 1:100, 1:100 y 1:10000, siendo reportados a continuación. Para las pacas PB2SM, PB3SM, PB4SM y PB5SM, se reportan en los ANEXOS TABLAS XLVIII a LIV.

TABLA XXIII  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA PACA BIODIGESTORA PB1SM  
DILUCIÓN 1:10

Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada sin estiércol (PB1SM) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 2 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos una coloración ámbar transparente característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> .
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada sin estiércol (PB1SM) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 3 donde se tiene la dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> y se evidencia una coloración rojo anaranjado la cual es característica de la presencia de <i>Salmonella Typhimurium</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada sin estiércol (PB1SM) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ligeramente rosa característico para una prueba positiva de <i>Escherichia coli</i> .
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada sin estiércol (PB1SM) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 4 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: las pruebas bioquímicas realizadas para esta muestra con dilución 1:10 dio positivo en cada uno de los medios utilizados, permitiendo identificar los microorganismos presentes.

### Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para la paca biodigestora realizada en el periodo de 1 año

En la TABLA XXIV, son presentadas las pruebas bioquímicas realizadas a la paca PB1AÑO, se efectuaron a partir de 50 gr de muestra en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10, para las diluciones 1:100, 1:100 y 1:10000, ver ANEXOS TABLAS LV a LVII.

TABLA XXIV  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA PACA BIODIGESTORA PB1AÑO  
DILUCIÓN 1:10

Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada hace un año (PB1AÑO) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos una coloración leve ámbar transparente, característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> y se evidencia una coloración oscura la cual es característica de la presencia de coliformes.
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada hace un año (PB1AÑO) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 2 donde se tiene la dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> y se evidencia una coloración rojo anaranjado la cual es característica de la presencia de <i>Salmonella Typhimurium</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada hace un año (PB1AÑO) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 4 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Escherichia coli</i> y se evidencia una coloración ambar característico para una prueba positiva de <i>Salmonella Typhimurium</i> y <i>shigella Flexneri</i>
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada hace un año (PB1AÑO) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 3 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: las pruebas bioquímicas realizadas para esta muestra con dilución 1:10 dio positivo en cada uno de los medios utilizados, permitiendo identificar los microorganismos presentes.

## Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para la muestra de estiércol de OVEJA

La prueba bioquímica realizada al estiércol de oveja usado en la construcción de las pacas (PB1CE, PB2CE y PB3CE), se efectuaron a partir de 50 gr de estiércol en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10, 1:100 y 1:1000, los resultados y análisis de estas pruebas bioquímicas se reportan en la TABLA XXV para la dilución 1:10 y para las diluciones 1:100 y 1:100 ver ANEXOS TABLA XLVIII.

TABLA XXV  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA DEL ESTIÉRCOL DE OVEJA.

Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestra de estiércol que se uso para la construcción de las pacas contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ámbar transparente característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> .
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestra de estiércol que se uso para la construcción de las pacas contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 2 se tiene la dilución 1:10, tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestra de estiércol que se uso para la construcción de las pacas contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 3 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Escherichia coli</i> .
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin. Podemos concluir que la muestra de estiércol que se uso para la construcción de las pacas contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 4 donde se tiene la dilución 1:10, tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: las pruebas bioquímicas realizadas para esta muestra con dilución 1:10 dio positivo en cada uno de los medios utilizados, permitiendo identificar los microorganismos presentes.

## Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para cada paca biodigestora realizada con estiércol

En la TABLA XXVI, son presentadas las pruebas bioquímicas realizadas a la paca PB1CE, se efectuaron a partir de 50 gr de muestra en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10, 1:100, 1:100 y 1:10000, siendo reportados a continuación. Para las pacas PB2CE y PB3CE, se reportan en los ANEXOS TABLAS LIX a LXIX.

TABLA XXVI  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA PACA BIODIGESTORA PB1CE  
DILUCIÓN 1:10.

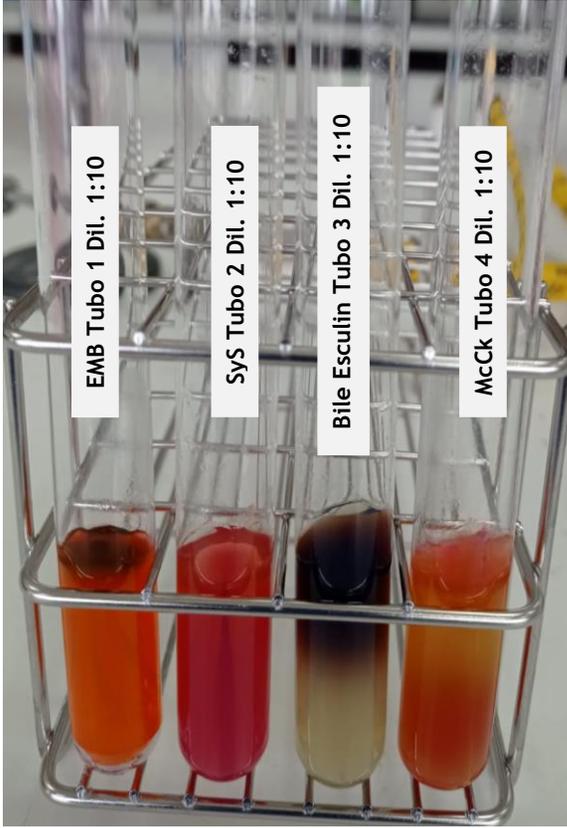
Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con estiércol (PB1CE) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 2 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ámbar transparente característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> y se evidencia una coloración oscura la cual es característica de la presencia de coliformes.
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con estiércol (PB1CE) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 3 donde se tiene la dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> y se evidencia una coloración rojo anaranjado la cual es característica de la presencia de <i>Salmonella Typhimurium</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con estiércol (PB1CE) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ligeramente rosa característico para una prueba positiva de <i>Escherichia coli</i> .
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con estiércol (PB1CE) contiene los siguientes microorganismos. En el tubo 4 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: En el análisis bioquímico de la paca biodigestora con dilución 1:10 dieron resultado positivo para cada medio pudiendo identificar según su coloración el tipo de microorganismo presente.

### Análisis de resultados de las pruebas bioquímicas para cada paca biodigestora realizada con el proceso biotecnológico (microorganismos)

En la TABLA XXVII, son presentadas las pruebas bioquímicas realizadas a la paca PB1MCR, se efectuaron a partir de 50 gr de muestra en 100 ml de agua que posteriormente se diluyeron en proporciones 1:10, para las diluciones 1:100, 1:100 y 1:10000, ver ANEXOS TABLAS LXX a LXXII.

TABLA XXVII  
ANÁLISIS PRUEBA BIOQUÍMICA PACA BIODIGESTORA PB1MCR  
DILUCIÓN 1:10

Medio de cultivo/muestra	Imagen prueba bioquímica dilución 1:10	Análisis de la prueba
EMB Agar, Levine	 <p>The image shows four test tubes in a metal rack. From left to right, the tubes are labeled: 'EMB Tubo 1 Dil. 1:10' (orange liquid), 'Sys Tubo 2 Dil. 1:10' (pink liquid), 'Bile Esculin Tubo 3 Dil. 1:10' (dark liquid), and 'McCk Tubo 4 Dil. 1:10' (orange liquid).</p>	Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar EMB, levine. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con microorganismos (PB1MCR) contiene los siguiente: en el tubo 1 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ámbar transparente característico para una prueba positiva de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> , pero al incorporar los microorganismos, estos tienen las mismas características metabólicas
Salmonella Shigella Agar		Dadas las coloraciones percibidas en la prueba bioquímica con el agar Salmonella Shigella. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con microorganismos (PB1MCR) contiene los siguiente: en el tubo 2 donde se tiene la dilución 1:10 tenemos un color rosa característico para una prueba positiva de <i>Shigella flexneri</i> .
MacConkey Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar MacConkey. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con microorganismos (PB1MCR) contiene lo siguiente: En el tubo 4 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color ambar característico para una prueba positiva de <i>Salmonella Typhimurium</i> y <i>shigella Flexneri</i> .
Bile Esculin Agar		Dada la coloración percibida en la prueba bioquímica con el agar Bile Esculin. Podemos concluir que la muestra de la paca biodigestora realizada con microorganismos (PB1MCR) contiene lo siguiente: en el tubo 3 donde se tiene una dilución 1:10 tenemos un color negro característico para una prueba positiva de <i>Enterococcus faecalis</i> .

Nota: las pruebas bioquímicas realizadas para esta muestra con dilución 1:10 dio positivo en cada uno de los medios utilizados, permitiendo identificar los microorganismos presentes.

## CONCLUSIONES

La incorporación de microorganismos especializados al proceso de pacas digestoras fue exitoso; debido a que el tiempo de degradación de la materia orgánica a 4 meses. Adicionalmente, los microorganismos realizan una mejor fijación de micronutrientes, esto se evidencia en el alto contenido de cenizas (29,29%) y baja pérdida por volatilización (70,71%) con respecto a los otros métodos.

El método biotecnológico implementado de las pacas digestoras en el proceso productivo de la empresa RADS-Colombia, evidencio que este método genera un abono orgánico con mayor cantidad de macro y micronutrientes inorgánicos que son los que puede aprovechar la planta.

Para la empresa RADS-Colombia, la implementación del método biotecnológico, puede generar treinta y nueve millones novecientos treinta y seis mil pesos (\$39,936,000), más de ingresos que el método convencional que viene usando, gracias a la disminución en los tiempos de producción a tan solo 4 meses.

La caracterización de los abonos orgánicos obtenidos por los tres métodos (convencional, con estiércol y el biotecnológico), permite concluir que el método que aporta una mayor calidad al producto final es el obtenido a través del proceso biotecnológico; ya que, se obtiene una buena humedad, alto contenido de cenizas, un pH óptimo, contenidos altos de metales esenciales como Ca, K, Na y Fe en un tiempo de 4 meses. Adicionalmente, el producto obtenido presenta un contenido mínimo de microorganismo patógenos, respecto a los otros métodos.

Se logró identificar la presencia de microorganismos patógenos al inicio del proceso con la incorporación de estiércol y al final evidenciando una disminución en la carga de patógenos gracias a la temperatura interna y a los procesos fermentativos producto del proceso de descomposición.

Con la implementación del análisis por fluorescencia de Rayos-X, para la caracterización de abonos orgánicos; es posible concluir que es un método robusto y de alta sensibilidad para la determinación y cuantificación de elementos químicos de interés, que al ser comparado con los resultados con la metodología convencional de espectroscopia de absorción atómica, se evidencia una correlación entre los datos obtenidos, lo que permite proponer esta nueva metodología como una alternativa de bajo costo y de fácil implementación para el análisis de suelos.

## CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

Se sugiere seguir investigando la implementación del método de fluorescencia de Rayos-X, para la detección y cuantificación de metales, puesto que de ser posible cuantificar se estaría aportando un método de bajo costo y con reducidos tiempos de análisis; que representaría un ahorro en costos para los agricultores.

Es importante destacar que el departamento de Boyacá, produce 13 500 toneladas de residuos sólidos donde un 40% corresponden a materia orgánica, lo que puede representar ingresos mensuales superiores a los dos mil millones de pesos (\$2. 000.000.000); generando 2160 toneladas de abono orgánico con macro y micro nutrientes óptimos, que contribuyen a las nuevas tendencias de agricultura regenerativa, por esta razón, se recomienda a empresas y comunidad en general que tengan en cuenta estas alternativas, para dar lugar a emprendimientos que puedan acceder a estos recursos.

Es recomendable a los municipios de Boyacá, integrar estas alternativas de solución para el manejo integral de residuos sólidos. Puesto que, generar una considerable disminución en costes en la disposición final de los residuos sólidos generados.

## REFERENCIAS

- [1] «Soil Carbon Sequestration | FAO SOILS PORTAL | Food and Agriculture Organization of the United Nations», 2023. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/soil-carbon-sequestration/en/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [2] T. A. Ontl y L. A. Schulte, «Soil Carbon Storage | Learn Science at Scitable», 2012. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [3] American University, «Fact Sheet: Soil Carbon Sequestration», *American University*, 2016. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-soil-carbon-sequestration.cfm> (accedido 25 de abril de 2023).
- [4] MIT Climate Portal, «Soil-Based Carbon Sequestration», *MIT Climate Portal*. <https://climate.mit.edu/explainers/soil-based-carbon-sequestration> (accedido 25 de abril de 2023).
- [5] C. Lefèvre, F. Rekik, V. Alcantara, y L. Wiese, «Carbono orgánico del suelo el potencial oculto». Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2017.
- [6] A. Justamante, «¿Qué es la agricultura regenerativa? - Blog CREA», 16 de octubre de 2021. <https://blog.crea.cat/es/noticias/que-es-la-agricultura-regenerativa/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [7] enel, «Principios y ventajas de la agricultura regenerativa», 11 de noviembre de 2022. <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/historias/articulos/2022/11/agricultura-regenerativa> (accedido 25 de abril de 2023).
- [8] N. Ivanchuk, «Agricultura Regenerativa Para La Sostenibilidad Del Suelo», 8 de junio de 2021. <https://eos.com/es/blog/agricultura-regenerativa/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [9] URBASER, «Rellenos Sanitarios», 2023. <https://urbaser.co/rellenos-sanitarios/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [10] S. Kaza, L. Yao, B.-T. Perinaz, y F. Van Woerden, *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. 2018.
- [11] S. Wainaina *et al.*, «Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies», vol. 301, 2020.
- [12] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo.» 2012.
- [13] «La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible», *La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible*, 2019. <https://www.ods.gov.co> (accedido 25 de abril de 2023).
- [14] Z. X. Keng *et al.*, «Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study», vol. 261, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121220.
- [15] G. Silva Pérez, «El basurero orgánico limpio», 2011.
- [16] United Nations Development Programme, «Sustainable Development Goals», *UNDP*, 2023. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (accedido 26 de abril de 2023).
- [17] Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, «Informe nacional de disposición final de residuos sólidos 2020», p. 94, 2021.
- [18] CSR Laboratorio, «La Estructura del Suelo y su Clasificación», *CSR Laboratorio*, 2022. <https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [19] Infoagro, «El suelo y su estructura física», *Revista InfoAgro México*, 12 de julio de 2017. <https://mexico.infoagro.com/el-suelo-y-su-estructura-fisica/> (accedido 25 de abril de 2023).

- [20] Hispagua Sistema Español de Información sobre el Agua, «Suelos | Hispagua», 2021. <https://hispagua.cedex.es/datos/suelos> (accedido 25 de abril de 2023).
- [21] «Soil horizon», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 23 de abril de 2023. Accedido: 25 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Soil\\_horizon&oldid=1151404854](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Soil_horizon&oldid=1151404854)
- [22] U.S. Department Of Agriculture, «Soil Texture Calculator», *Natural Resources Conservation Service*, 2023. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator> (accedido 25 de abril de 2023).
- [23] C. S. R. Laboratorio, «La Textura en los Suelos Agrícolas», *CSR Laboratorio*, 19 de marzo de 2019. <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/suelos-agricolas/la-textura-en-los-suelos-agricolas/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [24] U.S. Department Of Agriculture, «The Twelve Orders of Soil Taxonomy», *Natural Resources Conservation Service*, 2023. <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/the-twelve-orders-of-soil-taxonomy> (accedido 25 de abril de 2023).
- [25] E. A. Estrada Navarro, «Manual Elaboración de Abonos Orgánicos Sólidos, Tipo Compost», 2010.
- [26] ICONTEC, *NTC-5167-2011 Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. 2011.
- [27] B. Barbaro *et al.*, «Effects of the Olive-Derived Polyphenol Oleuropein on Human Health», *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 15, n.º 10, Art. n.º 10, oct. 2014, doi: 10.3390/ijms151018508.
- [28] J. Zavala Cruz, R. Jiménez Ramírez, D. J. Palma López, F. Bautista Zúñiga, y F. Gavi Reyes, «Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México», *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 3, núm. 8, 2016, 2016.
- [29] J. E. Garro Alfaro, *El suelo y los abonos orgánicos*. Costa Rica, 2017.
- [30] C. Pérez, «Dinamismo tecnológico e inclusión social en América Latina: Una estrategia de desarrollo productivo basada en los recursos naturales», *Revista de la CEPAL*, vol. 2010, n.º 100, pp. 123-145, mar. 2010, doi: 10.18356/0b1cb6b0-es.
- [31] G. Navarro García, «Química Agrícola. Evolución y concepto». 2012.
- [32] A. Escudero de Fonseca y C. A. Arias Villamizar, «Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte, Colombia.», 2012.
- [33] G. E. Brust, *Management Strategies for Organic Vegetable Fertility*. 2019.
- [34] H. Shaji, V. Chandran, y M. Linu, *Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients*. 2021.
- [35] D. Martínez B., A. J. Barón González, y O. D. Gil Novoa, «Espectrometría de fluorescencia de rayos X», *Revista de la Sociedad Colombiana de Física*, vol. 38, n.º 2, pp. 790-793, 2006.
- [36] R. Salamó Clapera, «Energy dispersive X-Ray fluorescence: measuring elements in solid and liquid matrices», jun. 2006, Accedido: 28 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/7563>
- [37] A. C. Thompson *et al.*, «X-Ray Data Booklet», 2005.
- [38] Uzcategui, «Técnicas de análisis de aceite.», 2004.
- [39] P. Yañez Q, A. Levy M, y M. Azero A, «Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del Trópico de Cochabamba en silos hiperventilados», vol. 3, 2007.
- [40] F. C. Adetuyi, F. A. Akinyosoye, M. O. Doyeni, y D. V. Adegunloye, «Microbial Analysis of Compost Using Cowdung as Booster», 2007.
- [41] P. Campitelli y S. Ceppi, «Chemical, physical and biological compost and vermicompost, characterization: A chemometric study», 2007, doi: 10.1016/j.chemolab.2007.08.001.
- [42] R. Rebollido, J. Martínez, Y. Aguilera, K. Melchor, I. Koerner, y R. Stegmann, «Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste», 2008.

- [43] H. Mohd Saud, M. Sariah, M. Zahangir Alam, H. Kausar, y M. Razi Ismail, «Development of compatible lignocellulolytic fungal consortium for rapid composting of rice straw», 2010, doi: 10.1016/j.ibiod.2010.06.012.
- [44] M. Yang, X. Zeng, y X. Zhang, «Screening of complex thermophilic microbial community and application during municipal solid waste aerobic composting», 2011, doi: 10.5897/AJB10.2559.
- [45] R. Hachicha *et al.*, «Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity», 2012, doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.053.
- [46] J. D. W. Adams y L. E. Frostick, «Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system», 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2007.02.019.
- [47] W. Zimin, X. Beidou, Z. Yue, W. Shiping, L. Hongliang, y J. Youhai, «Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid», 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.12.067.
- [48] M. S. Medina Lara *et al.*, «Generación de un inoculante acelerador del compostaje», 2017, doi: 10.1016/j.ram.2017.03.010.
- [49] J. F. Saldarriaga Elorza, «Compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos con separación en la fuente y su efecto en la salud humana.», Universidad de Medellín, Medellín, 2009.
- [50] N. Escobar Escobar, J. Mora Delgado, y N. J. Romero Jola, «Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca.», 2012.
- [51] J. L. Ardila Delgado, J. Cano Córdoba, G. Silva Pérez, y Y. López Arango, «Descomposición de residuos orgánicos en pacas: aspectos fisicoquímicos, biológicos, ambientales y sanitarios.», 2015.
- [52] A. M. Posada Marín, «Evaluación de dos sistemas de degradación biológica en zona rural del corregimiento San Antonio de Prado.», Universidad de Antioquia, Medellín, 2015.
- [53] L. C. Ossa Carrasquilla, «Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia.», Universidad de Antioquia, Medellín, 2016.
- [54] C. Y. Arenas Osorno, «Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el centro educativo rural Josefa Romero, municipio de Debaiba.», Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2017.
- [55] C. E. Pulgarín Muñoz y B. A. Wills Betancur, «Estabilización de lodos biológicos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual mediante pacas biodigestoras.», 2019.
- [56] J. D. Alarcon Prieto, Y. A. Gordillo Rangel, y G. N. Rivera Llanos, «Optimización del proceso de compostaje mediante la introducción de un abono microbial que contiene *Streptomyces sp*, *Aspergillus niger* y *Lactobacillus sp.*», Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogota D.C, 2019.
- [57] Naciones Unidas, «Convenio sobre la diversidad biológica». 1992.
- [58] «Constitución política de Colombia». 1991.
- [59] «Decreto 2811 - Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente». 18 de diciembre de 1974.
- [60] «Ley General Ambiental de Colombia (Ley 99 DE 1993)», 1993.  
<https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/ley-general-ambiental-de-colombia-ley-99-de-1993> (accedido 22 de abril de 2023).
- [61] Instituto Colombiano Agropecuario ICA, «Resolución No. 1068 de 1996 - Manual Técnico en Materia de Aplicaciones de Insumos Agrícolas». 24 de abril de 1996.

- [62] Instituto Colombiano Agropecuario ICA, «Resolución No. 00150 de 2003 - Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia». 21 de enero de 2003.
- [63] Instituto Colombiano Agropecuario ICA, «Resolución No. 3079 de 1995 - Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, acondicionadores de suelo y plaguicidas.» 19 de octubre de 1995.
- [64] C. M. Rodríguez-López, A. M. Guzmán-Beltrán, M. C. Lara Morales, E. Castillo, y P. F. B. Brandão, «Aislamiento e identificación de *Lactobacillus* spp. (LACTOBACILLACEAE) resistentes a A Cd(II) Y As(III) recuperados de fermento de Cacao.», *Acta biol. Colomb.*, vol. 26, n.º 1, pp. 19-29, ago. 2020, doi: 10.15446/abc.v26n1.83677.
- [65] D. E. Miranda Castilleja, E. Ortiz Barrera, S. M. Arvizu Medrano, J. Ramiro Pacheco, J. A. Aldrete Tápio, y R. Á. Martínez Peniche, «Aislamiento, selección e identificación de levaduras *Saccharomyces* spp. nativas de viñedos en Querétaro, México», *Agrociencia*, vol. 49, n.º 7, pp. 759-773, nov. 2015.
- [66] M. C. Vanegas, L. M. González, y S. A. Arévalo, «Capacidad bactericida de *Bifidobacterium* sp. aislada de leche materna y de heces de neonatos, frente a los principales causantes de enfermedades transmitidas por alimentos», *Infectio*, vol. 14, n.º 4, pp. 241-247, dic. 2010, doi: 10.1016/S0123-9392(10)70117-X.
- [67] D. Vidal Rosell, M. de los Á. Fernández Ferrer, y C. A. Sabatier, «Meningitis bacteriana por *Lactococcus lactis cremoris*», *Revista Cubana de Medicina Tropical*, vol. 60, n.º 3, pp. 0-0, dic. 2008.
- [68] M. F. Villarreal Delgado, E. D. Villa Rodríguez, L. A. Cira Chávez, M. I. Estrada Alvarado, F. I. Parra Cota, y S. De los Santos Villalobos, «El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola», *RMF*, vol. 36, n.º 1, ene. 2018, doi: 10.18781/R.MEX.FIT.1706-5.
- [69] D. Luján, «Uso de *Pseudomonas aeruginosa* en biorremediación», vol. 23, n.º 1, 2019.
- [70] J. M. Garita Cambroner, «Genómica comparativa de cepas de *Xanthomonas arboricola* asociadas a *Prunus* spp.: caracterización de los procesos de infección de la mancha bacteriana de frutales de Hueso y Almendro.», 2016.
- [71] A. Amauri Noda, J. I. Vidal Tallet, L. Hernández Álvarez, y L. A. Vidal Tallet, «*Streptococcus pneumoniae*, mecanismos de resistencia antimicrobiana», *Revista Cubana de Pediatría.*, 2011.
- [72] H. Y. Martínez Padrón y S. Hernández Delgado, «El Género *Aspergillus* y sus Micotoxinas en Maíz en México: Problemática y Perspectivas», 2013.
- [73] D. I. B. Martínez y Y. Reyes, «*Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos», vol. 28, n.º 1, 2013.
- [74] E. D. C. Walsh Meza, «Estudio de la productividad del cultivo de *Delphinium*, variedad Sea Waltz, con la aplicación de microorganismos benéficos (*Trichoderma harzianum*, *Gliocladium* spp, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum* spp. y *Azotobacter* spp.) bajo condiciones de campo», 2010.