

PRESENCIA DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES, *Salmonella sp.* Y HONGOS FITOPATÓGENOS EN PACAS DIGESTORAS SILVA (PDS) DE BOGOTÁ PARA SU USO EN LA AGRICULTURA URBANA.

María Fernanda Vargas Torres ¹

Myriam Stella Silva Marin ²

Gina Lorena Sánchez León ³

¹ Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad Ciencias de la Salud, Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico, Grupo de Investigación Semillero Calidad de Aguas.

² Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad Ciencias de la Salud, Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico, Grupo de Investigación Semillero Calidad de Aguas. Coordinadora Académica

³ Jardín Botánico de Bogotá. Subdirección Científica. Agricultura Urbana. Biología y Fitopatología.

RESUMEN

El producto final (cosecha) de las Pacas Digestoras Silva (PDS), se utiliza como acondicionador o restaurador de suelos; permitiendo el aprovechamiento de residuos domésticos *in situ*. Esta biotecnología evita que los residuos orgánicos terminen en vertederos que afectan la calidad de vida de las personas y el medio ambiente circundante.

Objetivo. Determinar la presencia de coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*), *Salmonella sp.* y hongos fitopatógenos en Pacas Digestoras Silva (PDS) de Bogotá para determinar su uso en la agricultura urbana. **Metodología.** Se muestrearon seis PDS, ubicadas en diferentes localidades de Bogotá D.C. bajo la supervisión del JBB y la UCMC, y se determinó su inocuidad utilizando la presencia o no de algunos microorganismos de acuerdo a la NTC 5167. **Resultados.** La presencia de coliformes totales y *Salmonella sp.* en las seis PDS analizadas permitieron establecer que la cosecha de esta, es recomendable como abono de jardines y árboles urbanos. **Conclusiones.** El producto de las PDS no es recomendable como abono en el cultivo urbano debido a que la carga microbiológica de esta sobrepasa la normatividad establecida en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167.

Palabras clave: Paca Digestora Silva, Agricultura urbana, coliformes fecales, coliformes totales, hongos fitopatógenos y *Salmonella sp.*

ABSTRACT

The final product (harvest) of the Silva Digester Bales (SDB) is used as a soil conditioner or restorer, allowing the use of household waste in situ. This biotechnology prevents organic waste from ending up in landfills that affect the quality of life of people and the surrounding environment.

Objective. Determine the presence of total coliforms, fecal coliforms (*Escherichia coli*), *Salmonella sp.* and phytopathogenic fungi in Pacas Digestoras Silva (PDS) of Bogotá to determine their use in urban agriculture. **Methodology.** Six PDS were sampled, located in different localities of Bogotá D.C. under the supervision of JBB and Unicolmayor, and their

safety was determined using the presence or absence of some microorganisms according to NTC 5167. **Results.** The presence of total coliforms and *Salmonella* sp. in the six PDS analyzed made it possible to establish that the harvesting of this product is recommendable as fertilizer for gardens and urban trees. **Conclusions.** The product of the PDS is not recommended as fertilizer for urban cultivation because the microbiological load of this product exceeds the norms established in the Colombian Technical Standard (NTC) 5167.

Key words: Digestive bale Silva, urban agriculture, fecal coliforms, total coliforms, phytopathogenic fungi and *Salmonella* sp

INTRODUCCIÓN

Las PDS se utilizan como acondicionador o restaurador de suelos; permitiendo el aprovechamiento de residuos domésticos *in situ*. Esta biotecnología evita que los residuos orgánicos terminen en vertederos que afectan la calidad de vida de las personas y el medio ambiente circundante. La técnica de PDS fue desarrollada en primera instancia por el tecnólogo forestal Guillermo Silva de origen colombiano, en la que se promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos (RO) y su descomposición *in situ* por medio de prensado en un molde cúbico, que posteriormente será transformado en tierra fértil por acción de los microorganismos presentes en ella. Esta técnica ha logrado en particular, concientizar a la población en general respecto a la disposición final de residuos orgánicos domésticos, evitando que estos terminen en vertederos generando contaminación ambiental. (Correa, 2022)

El objetivo general de las PDS, es el aprovechamiento de RO; sin embargo, a partir del año 2017 algunos autores realizaron análisis y estudios a las PDS evaluando sus características fisicoquímicas y microbiológicas bajo los parámetros establecidos por la NTC 5167, permitiendo evaluar su uso como enmienda de suelos o en el desarrollo de plantas sin afectarlos para su uso en la horticultura urbana. Lo anterior da como resultado que las Enterobacterias, nemátodos y protozoos cumplan con los niveles mínimos establecidos por la Norma, los autores no evidenciaron presencia de *Salmonella* sp., lo anterior permitió la continuidad del uso de las PDS como abono en la agricultura urbana. (Ossa *et al.*, 2021)

La NTC 5167 establece los requisitos y procedimientos a los que se someten los productos orgánicos para ser utilizados como enmiendas de suelo, abonos o fertilizantes. Dentro de los parámetros microbiológicos se incluye: la ausencia de *Salmonella* sp. en 25 g del producto, el recuento de Enterobacterias totales debe ser menor a 1000 UFC/g del producto final y adicionalmente, si se trata de una materia prima de origen vegetal, debe estar exento de hongos fitopatógenos como: *Fusarium* spp., *Botrytis* sp., *Rhizoctonia* sp., y *Phytophthora* sp. (NTC 5167, 2011)

La alianza entre la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca (UCMC) y el Jardín Botánico de Bogotá (JBB), permitió fortalecer y hacer seguimiento a investigaciones previas, con el fin de determinar el uso adecuado de las PDS como acondicionador de suelos o como abono en la agricultura urbana sin que se afecte la salud humana y vegetal, a través de cuatro indicadores microbiológicos: recuento de coliformes totales, coliformes fecales, ausencia o presencia de *Salmonella sp.* y hongos fitopatógenos. (Jardín Botánico de Bogotá, 2022)

MATERIALES Y MÉTODOS

Fabricación de una PDS

Una PDS se constituye de diferentes capas de RO domésticos y vegetales prensados entre sí con el fin de generar una condición de anaerobiosis, que permite la descomposición de RO a través de la acción de microorganismos. (Perdomo, 2022). La distribución de las capas de una PDS se realiza como se ve en la **Figura 1**. Una primera capa de palos, ramas o troncos ubicados en forma de rejilla que permite drenar los lixiviados. La segunda capa está compuesta por residuos vegetales como hojas secas, verdes, poda de jardín, entre otros. La tercera capa que se constituye de residuos domésticos de cocina como cáscaras de frutas, verduras y huesos de animales los que se ubican en el centro de la PDS y que debe ser rodeado por hojarasca; nuevamente, se realiza otra capa de hojarasca y finalmente, para terminar la PDS, una capa de residuos vegetales. (Cabrales y Ocampo, 2023) Es importante resaltar que la compactación se debe realizar desde la segunda capa a través del pisamiento. (Ossa, 2016)

Figura 1.

Composición de la PDS-Parque Teusaquillo.



Nota. El gráfico representa las capas por las que está compuesta una PDS realizada por la comunidad paquera del Parque Teusaquillo.

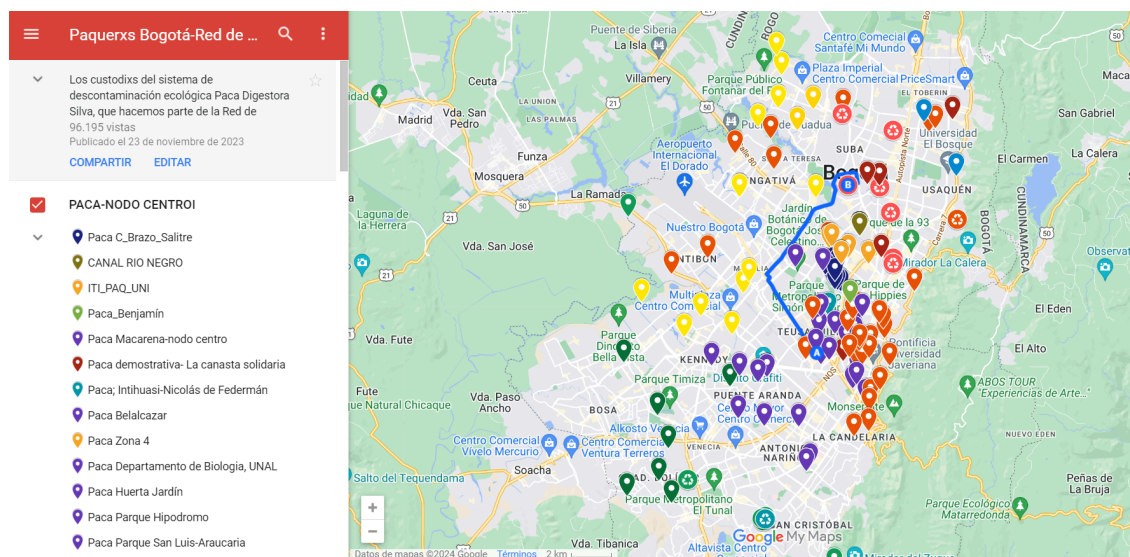
Selección de muestras

Las PDS se distribuyeron en diferentes puntos de Bogotá D.C a través de nodos representados en

el mapa de georreferenciación de la Red Paqueros de Bogotá (Paquerxs Bogotá). **Figura 2.**

Figura 2.

Mapeo de procesos paqueros en Bogotá



Nota. Adaptado de *Paca Digestora Silva*, de Paquerxs Bogotá. 2023. Fuente: <https://linktr.ee/PacaDigestoraSilva>

El propósito del estudio fue seleccionar seis PDS de diferentes nodos y localidades de la ciudad de Bogotá, con el fin de realizar un análisis microbiológico que permitió evaluar la inocuidad de cada una de ellas. A continuación, se muestra la selección y ubicación de las PDS utilizadas en este estudio:

- ❖ Paca N°1: Jardín Botánico de Bogotá. Localidad Engativá. Nodo Centro (PDS control)
- ❖ Paca N°2: Huerta del Fuego. Localidad Fontibón. Nodo Occidental.
- ❖ Paca N°3: Humedal Córdoba. Localidad Suba. Nodo Norte.
- ❖ Paca N°4: Parques de Capri. Localidad Usaquén. Nodo Norte.
- ❖ Paca N°5: Parque Barrio Los Andes. Localidad Barrios Unidos. Nodo Centro.
- ❖ Paca N°6: Parque Teusaquillo. Localidad Teusaquillo. Nodo Centro

Como PDS control se incluyó una ubicada en el Jardín Botánico de Bogotá, que solo incluía residuos vegetales y cáscaras de huevo.

Muestreo:

Para la recolección de la muestra se tuvieron en cuenta aquellas PDS que tuvieran más de 6 meses después de su proceso de fabricación, todas ellas bajo las mismas condiciones ambientales ya que se encontraban al aire libre. Para el muestreo se realizó una excavación profunda en la PDS de manera que se tuviera acceso a todas las capas presentes en esta. Figura 3a y 3b; posteriormente, se muestrearon los diferentes cuadrantes obteniendo una

muestra homogénea y compuesta. Figura 3c. La cantidad de cosecha recolectada por cada PDS fue de 100 g en bolsa estéril como se muestra en la Figura 3d.

Figura 3.

Recolección de la cosecha de una de las PDS.



Nota. Figura 3a. y 3b. Procedimiento de excavación en el centro de la PDS. Figura 3c. Recolección de la muestra entre capas. Figura 3d. Cosecha recolectada.

Detección de coliformes totales y fecales por Número Más Probable (NMP):

1. Coliformes totales:

Teniendo en cuenta la norma ISO 4831: 2016. “Coliformes: Detección y Recuento por NMP” y la Guía de Laboratorio de Microbiología Industrial de la UCMC, a partir de la cosecha de la PDS, se tomó una muestra madre de 1g y se hicieron diluciones seriadas hasta 10^{-8} utilizando agua peptonada. (Cifuentes, 2016)

1.1 Prueba presuntiva:

A partir de 1 mL del homogenizado de la muestra madre y sus respectivas diluciones, se procedió a sembrar por triplicado cada una de ellas, en diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-8} respectivamente, utilizando como medio de enriquecimiento caldo lactosado bilis verde brillante (Caldo Brila), a cada tubo se le colocó una campana de Durham para evidenciar la presencia de gas generado por los microorganismos, se incubaron a 37°C durante 24 horas. (ISO 4831:2016)

Utilizando la técnica de NMP para coliformes totales, se analizaron por triplicado cada una de las diluciones y de acuerdo a la turbidez del medio y la producción de burbujas en la campana de Durham, se detectó la presencia o no de estos microorganismos. (Cifuentes, 2016)

2. Coliformes fecales:

Test de Mckenzie:

Los tubos que mostraron presencia de gas se seleccionaron para realizar una nueva siembra en caldo Brila y en caldo triptófano; posterior a la siembra, se llevó a incubación a 45°C durante 48 horas. Esta prueba permite evaluar la presencia de *Escherichia coli*, una enterobacteria que utiliza la triptofanasa para convertir el triptófano en indol y que se evidencia a través de la técnica de Kovacs. (Cifuentes, 2016)

3. Detección de *Salmonella sp.*:

Salmonella sp. es un grupo de microorganismos perteneciente a las Enterobacterias, que crece en un amplio rango de temperatura (6-43°C), por tanto se debe hacer un pre enriquecimiento para garantizar su viabilidad y crecimiento. (NTC 5167, 2011)

3.1 Pre enriquecimiento:

En 225 ml de caldo lactosado al 22,5% se le adicionaron 25 g de la muestra madre de la PDS, llevándola a incubación por 24 horas a 37°C. (NTC 5167, 2011)

3.2. Enriquecimiento selectivo:

A partir de una alícuota del pre enriquecimiento y utilizando caldo selenito y caldo tetratiónato se permitió el crecimiento de *Salmonella sp* incubando a 43°C por 24 horas. (NTC 5167, 2011)

3.3 Aislamiento en medios selectivos:

Como prueba confirmatoria, se utilizó la siembra por triplicado en Agar *Salmonella – Shigella*, a 37°C durante 24 horas respectivamente. Esto permitió confirmar la presencia de *Salmonella sp.* a través del color negro de sus colonias. (NTC 5167, 2011)

4. Detección de hongos fitopatógenos

A partir del homogeneizado de la muestra madre y sus respectivas diluciones, se sembraron 100 uL por duplicado en Agar PDA, se incubó durante 8 días a temperatura ambiente.

4.1 Aislamiento y microscopía

Posterior a la incubación, se aislaron por duplicado las diferentes colonias en Agar PDA. Se incubó nuevamente a temperatura ambiente durante 8 días. Finalmente, para evaluar las estructuras microscópicas y caracterizar el hongo, se realizó una impronta con azul de lactofenol. Figura 7.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 1. Identificación de los microorganismos encontrados en las PDS

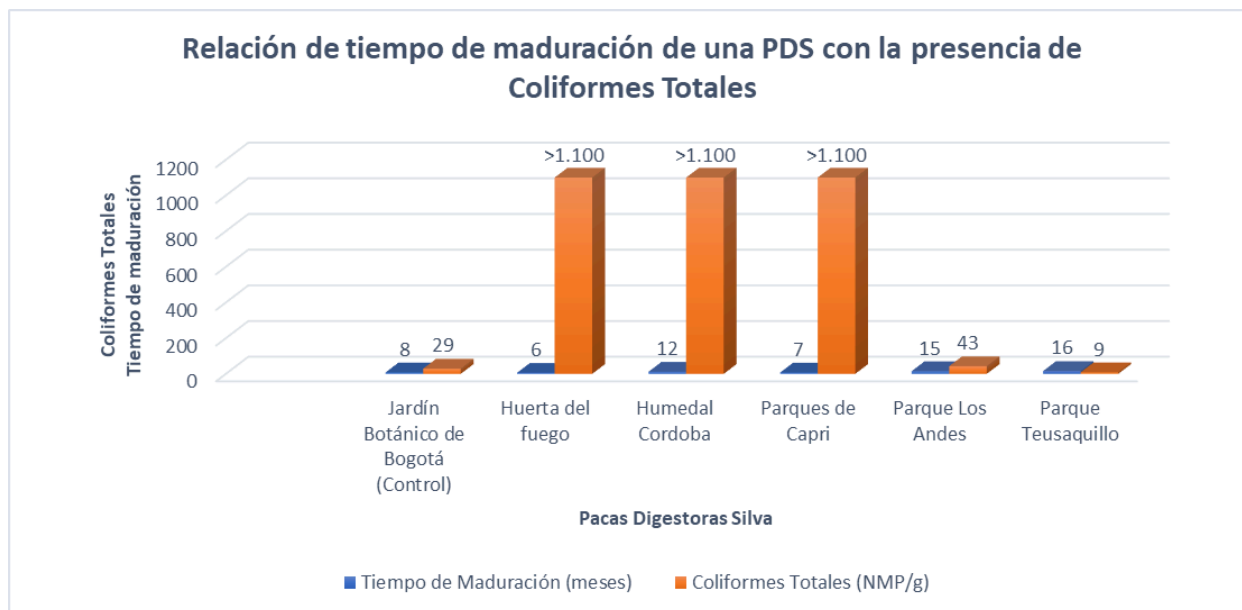
PDS	Tiempo de Maduración (Meses)	Coliformes Totales (NMP/g)	Coliformes Fecales	<i>Salmonella sp.</i>	Hongos Fitopatógenos (<i>Fusarium sp.</i>)
Huerta del fuego	6	>1.100	Si	Si	Si
Parques de Capri	7	>1.100	Si	Si	Si
Jardín Botánico de Bogotá	8	29	Si	Si	Si
Humedal Cordoba	12	>1.100	Si	Si	Si
Parque Los Andes	15	43	Si	Si	Si
Parque Teusaquillo	16	9	Si	Si	Si

En este estudio, se sometieron seis PDS a diferentes tiempos de maduración entre seis y dieciséis meses a partir de su fabricación. El estudio permitió cuantificar microorganismos como Coliformes Totales, Coliformes fecales, y la presencia o no de *Salmonella sp.* y hongos fitopatógenos como *Fusarium sp.*, como se muestra en la Tabla 1.

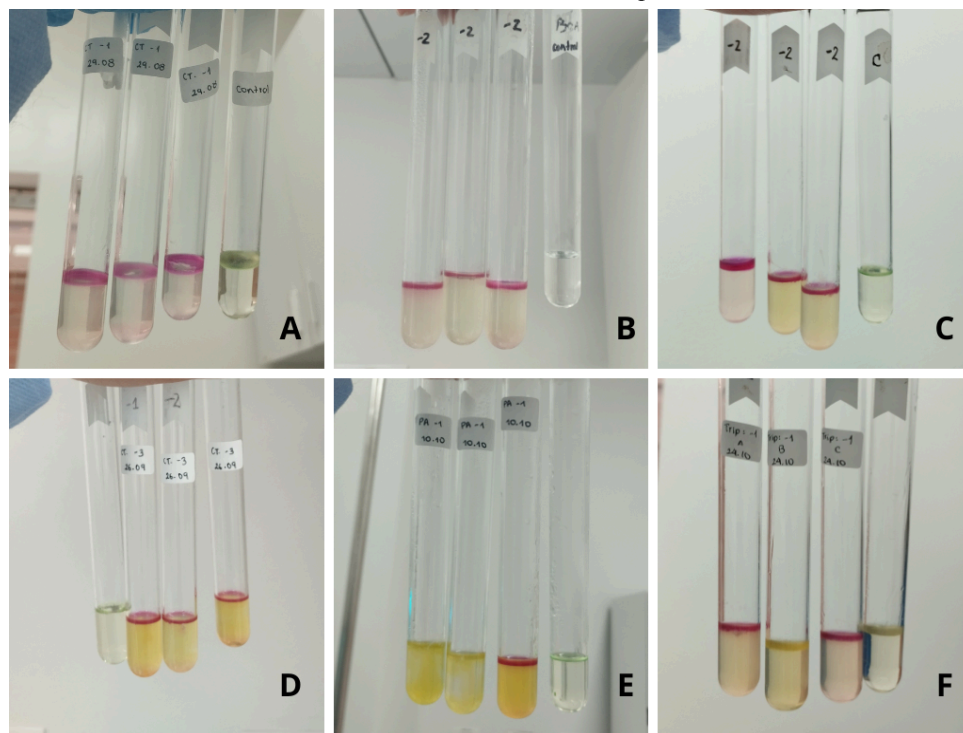
En la Figura 4 se muestra el tiempo de maduración versus la cantidad de Coliformes Totales presentes en las muestras

Figura 4.

Tiempo de maduración de las PDS versus la cantidad de Coliformes totales presentes en las muestras

**Figura 5:**

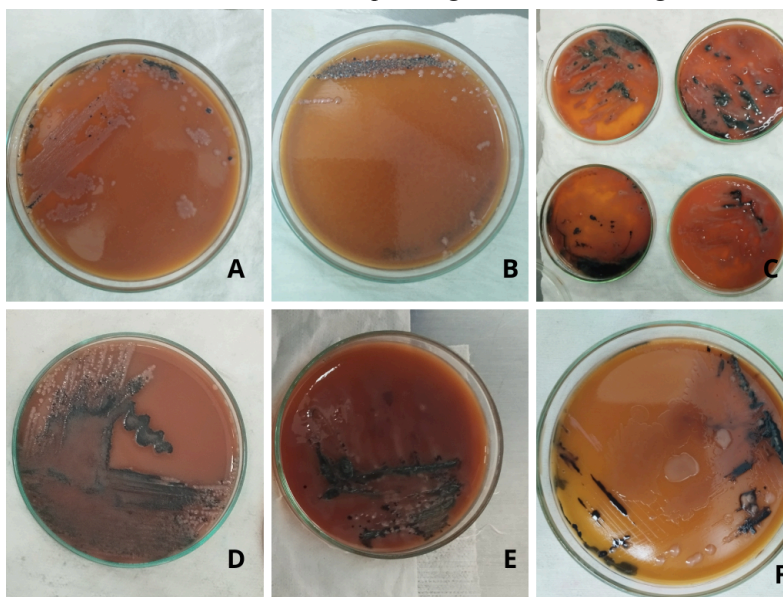
Detección de Escherichia coli a través de la prueba de Indol.



Nota. A. PDS, JBB B. PDS, Huerta del Fuego. C. PDS, Choquenzá. D. PDS, Colectivo Xiegua. E. PDS, Parque Los Andes. F. PDS, Parque Teusaquillo.

La presencia de *Escherichia coli* se evidenció a través de la prueba de Indol como muestra la Figura 5.

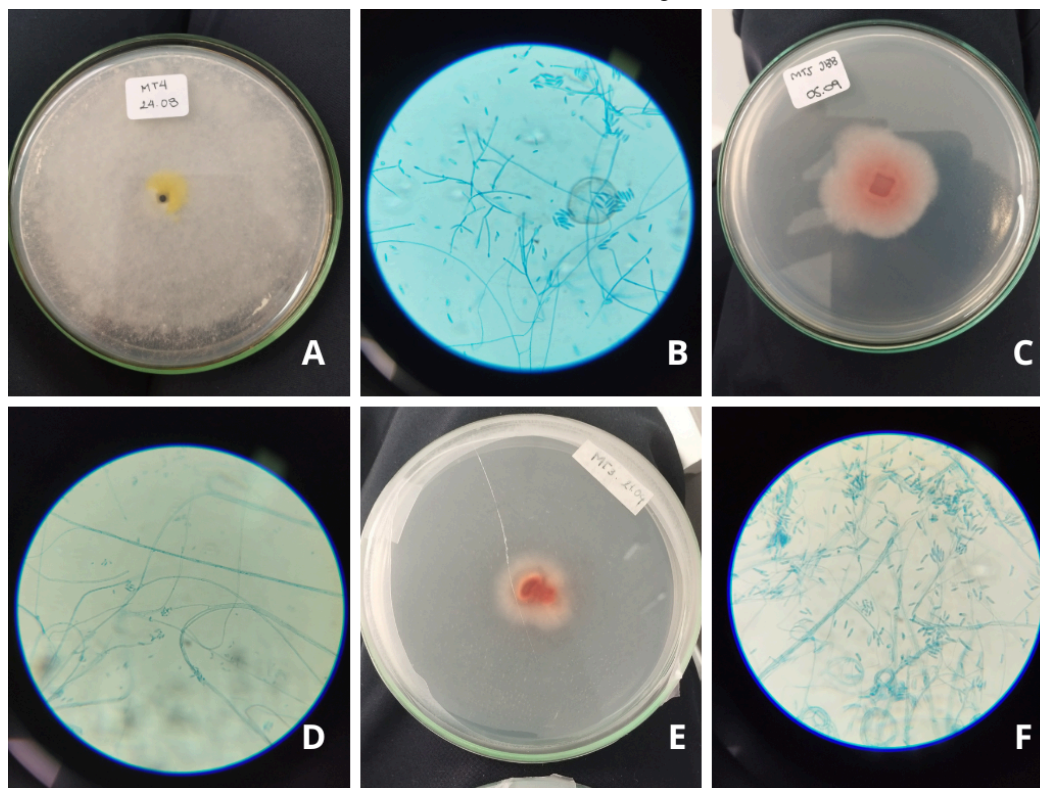
Figura 6
Detección de Salmonella sp. en Agar Salmonella-Shigella



Nota. **A.** PDS, JBB **B.** PDS, Huerta del Fuego. **C.** PDS Choquenzá. **D.** PDS Colectivo Xiegua. **E.** PDS Parque Los Andes. **F.** PDS Parque Teusaquillo

La Figura 6, muestra la presencia de *Salmonella sp.* en las seis PDS, para su identificación se utilizó el medio de cultivo Agar Salmonella-Shigella.

Figura 7.
Aislamiento de Fusarium sp.



Nota A. Identificación macroscópica de *Fusarium sp.* en PDS, JBB. *B.* Identificación microscópica de *Fusarium sp.* en PDS, JBB.

La Figura 7, muestra la presencia del hongo *Fusarium sp.* en las seis PDS, para su identificación se utilizó el medio de cultivo Agar PDA.

Pulgarin & Wills (2019) establecieron en su estudio que 4 meses no es un tiempo suficiente para la digestión total del material presente en una PDS. Ardila *et al.*, 2015; Cardona, 2018; Velázquez *et al.* 2017, indican que seis meses es un tiempo de maduración adecuado para obtener un sustrato estable y maduro. Sin embargo, en este estudio los tiempos de maduración que se tuvieron en cuenta fueron seis, siete, ocho, doce, quince y dieciséis meses a sugerencia del Jardín Botánico de Bogotá.

Al igual que otros estudios Cardona (2018); Ossa (2016); Posada (2015) y Pulgarin y Wills, esta investigación identificó colonias de Coliformes totales y fecales siendo *Escherichia coli* indicativo de contaminación fecal. Sin embargo, de acuerdo a la NTC 5167, se permite un número menor a 1000 UFC/g para Enterobacterias, dado que es un grupo de microorganismos propio del proceso de descomposición de materia orgánica debido a las condiciones anaeróbicas de las PDS. Esto implica que independientemente del tipo de residuo utilizado en la composición

microorganismos como *Escherichia coli* pueden estar presentes debido a su acción descomponedora y el ambiente de anaerobiosis.

En esta investigación se detectó *Salmonella sp.* en las seis PDS objeto (Figura 6), a diferencia de investigaciones realizadas por otros autores (Cardona, 2018; Ossa, 2016; Posada, 2015; Pulgarin y Wills, 2019) lo que posiblemente se derive del uso de cáscaras de huevo y residuos cárnicos en la elaboración de las PDS o bien por su desarrollo y supervivencia en el ambiente al entrar en contacto con heces contaminadas. (Instituto Nacional de Salud, 2011).

De acuerdo a la NTC 5167, la presencia de hongos como: *Fusarium spp.*, *Botrytis sp.*, *Rhizoctonia sp.*, *Phytophthora sp.*, determina el no uso del producto final de las cosechas utilizadas como enmienda de suelos o abono para cultivo urbano. Esta investigación mostró la presencia de *Fusarium sp.* en las seis PDS, como se observa en la figura 7 por la presencia de macroconidios en forma de media luna, hialinos y septados propios de este género.

La PDS, es una biotecnología que aprovecha los residuos orgánicos cuyo objetivo principal es la enmienda ambiental, la participación comunitaria y la preservación de ecosistemas urbanos y rurales al convertirse en un acondicionador de suelos durante su etapa final; asimismo, ha permitido generar un ambiente de aprendizaje al ser utilizadas como laboratorio vivo o aula abierta en la educación ambiental. (Arteaga y Castaño, 2015; Ochoa, 2019; Rivera y Ossa, 2017)

CONCLUSIONES

El estudio permitió determinar la presencia de coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*), *Salmonella sp.* y hongos fitopatógenos en las PDS JBB, Huerta del Fuego, Humedal Córdoba, Parques de Capri, Parque los Andes y Parque Teusaquillo. Acorde con la NTC 5167 que rige los parámetros microbiológicos necesarios para que un suelo pueda ser usado como abono, el producto final de las pacas aquí muestreadas, no son aptas como enmiendas del suelo, abonos y fertilizantes.

Las PDS han sido un objeto de estudio en diferentes ocasiones evaluando su proceso de descomposición y su producto final; aunque en trabajos anteriores se ha descrito como un abono apto y rico en nutrientes, esta investigación determinó que las PDS son una alternativa como abono para árboles ornamentales y de jardinería.

La cosecha de las PDS no es apta para la horticultura urbana y la enmienda de suelos que implique el consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Correa M. Resistir desde los residuos: prácticas sociales de resistencia de los paqueros urbanos (acercamientos etnográficos en Medellín y Bogotá). [Tesis de Maestría]. Medellín: Universidad de Antioquia.; 2022. [Consultado 10 jul 2023] Disponible en https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/30243/9/CorreaMari%CC%81a_2022_ResistirDesdeLosResiduos.pdf
- Ossa-Carrasquilla LC, Correa-Ochoa MA, Múnera-Porras LM. La paca biodigestora como estrategia de tratamiento de residuos orgánicos. Prod Limpia [Internet]. 2021;15(2):71–91. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v15n2a4>
- Norma Técnica Colombiana 5167. (2011). Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Bogotá.
- Perdomo E. *Pacas Digestoras Silva estrategia para aprovechar los residuos orgánicos*. [Internet]. Cali: Alcaldía de Santiago de Cali; 2022. [Consultado 18 feb 2024] Disponible en <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/166568/pacas-digestoras-silva-estrategia-para-aprovechar-los-residuos-organicos/#:~:text=La%20paca%20digestora%20es%20un,pr ensado%20manual%20de%20los%20residuos.>
- Cabrales W. Ocampo J. Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en el municipio de Carepa- Antioquia. [Tesis]. Universidad de Antioquia, Medellín; 2023. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/34858>
- Ossa L. Aplicación de la tecnología de las Pacas Biodigestoras para el tratamiento ecológico de los residuos orgánicos de la Universidad de Antioquia. [Tesis]. Universidad de Antioquia, Medellín; 2016. 119p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/13416>

- Norma ISO 4831: 2016. “Coliformes: Detección y Recuento por NMP” [Internet] 2021
- Cifuentes P. Guía del Laboratorio de Microbiología Industrial de la UCMC. Bogotá. 2019.
- Pulgarin C. Estabilización de lodos biológicos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual mediante pacas biodigestoras [Internet]. Revista PRODUCCIÓN + LIMPIA , 2019. Disponible en: DOI: 10.22507/pml.v14n1a3
- Ardila J., Cano J., Silva G. Descomposición de residuos orgánicos en pacas: aspectos fisicoquímicos, biológicos, ambientales y sanitarios [Internet] Revista PRODUCCIÓN + LIMPIA , 2015.
- Salmonella (no tifoidea). [Internet]. WHO. 2018. [Consultado 01 mar 2024] Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))
- Ardila Delgado, Jayme Liset, & Cano Córdoba, J. (2011). Técnica de descomposición de residuos forestales y heces de establo con pacas digestoras : aspectos físico-químicos , ambientales y sanitarios . Centro Educativo Conquistadores, Medellín. Universidad de Antioquia
- Arenas Osorno, C. Y. (2017). Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba (Universidad Pontificia Bolivariana). Retrieved from <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3303>
- Posada Marín, Ana María. (2015). Evaluación de dos sistemas de degradación biológica en zona rural del corregimientos de San Antonio de Prado (Universidad de Antioquia). Retrieved from <http://opac.udea.edu.co/cgi-olimp/?infile=details.glu&luid=1428422&rs=13253362&hitno=4>

- Pulgarin Muñoz, C. E. (2019). Estabilización de lodos biológicos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia mediante pacas biodigestoras (Universidad de Antioquia). Retrieved from <http://opac.udea.edu.co/cgi-olbib/?infile=details.glu&luid=1495501&rs=13253362&hitno=10>