

Evaluación fisicoquímica y microbiológica de suelos con adición de residuos orgánicos

*Gallego Arroyave Nataly,¹ Rivera Tabares Juan Felipe,²
Bueno López Liliana,³ Londoño Giraldo Lina María⁴*

RESUMEN

Colombia es un país que resalta por su variedad de suelos altamente fértiles, esto marcado por sus diversas condiciones climáticas que facilitan el desarrollo de la agricultura, la cual ocupa un importante papel en la economía nacional, además de servir como un excelente indicador de la salud del suelo. Sin embargo, dicha salud recientemente se ha visto afectada por el uso indiscriminado de agroquímicos en cultivos, por lo que es necesaria la búsqueda de un bioinsumo capaz de competir con estos productos comerciales. Por eso, en este estudio, atendiendo a esa necesidad y la de darles un uso a residuos frecuentes, como las cáscaras de plátano, banano y huevo, y los residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira, obtiene como resultado que estos últimos por la acción de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal generan mejores rendimientos sobre plántulas de fríjol que un agroquímico ampliamente utilizado y de fácil acceso, con lo cual se abre una nueva posibilidad para evitar el deterioro de los suelos.

Palabras clave: agricultura, fríjol, microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV), poda, residuos, tratamiento.

1 Estudiante del programa de Microbiología. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Seccional Pereira. nataly-gallegoa@unilibre.edu.co

2 Estudiante del programa de Microbiología. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Seccional Pereira. juanf-riverat@unilibre.edu.co

3 Estudiante del programa de Microbiología. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Seccional Pereira. liliana.buenol@unilibre.edu.co

4 Estudiante del programa de Microbiología. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Seccional Pereira. linam.londonog@unilibre.edu.co

Physicochemical and microbiological evaluation of soils with the addition of organic residues

ABSTRACT

Colombia is a country that stands out for its variety of highly fertile soils, this marked by its diverse climatic conditions that facilitate the development of agriculture, which occupies an important role in the national economy, in addition to serving as an excellent indicator of health. of the soil, but said health has recently been affected by the indiscriminate use of agrochemicals in crops, for which it is necessary to search for a bio input capable of competing against these commercial products, therefore, in this study, attending to that need and the need to put to use frequent residues such as plantain, banana and egg peels, and pruning residues from Universidad Libre Seccional Pereira, resulting in the latter, due to the action of plant growth-promoting microorganisms, generating better yields on bean seedlings than a widely used and easily accessible agrochemical opening up a new possibility to prevent soil deterioration.

Keywords: agriculture, beans, plant growth promoting microorganisms (PGPM), pruning, residues, treatment.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con suelos altamente fértiles y diversas condiciones climáticas en sus diferentes regiones, algo que propicia el crecimiento de una gran variedad de cultivos.¹ Específicamente, en la región andina pueden encontrarse tanto suelos ácidos como neutros o con una alcalinidad moderada, ya que muchos de los suelos de esta zona son de origen volcánico con textura franco-arcillosa.²

En esta región, se encuentra una zona de alta importancia para Colombia conocida como el Eje Cafetero, conformado por los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, la zona sur de Córdoba y la zona norte del Valle del Cauca.³ Esta zona es reconocida por sus cultivos de café, producto insignia del país, pues se ha posicionado como uno de los principales exportadores de este.⁴ Los cafetales de esta región hacen parte del paisaje cultural cafetero reconocido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) como patrimonio cultural intangible, el cual tiene como particularidad un manejo tradicional de producción de café, que incluye alta presencia la hojarasca, presencia de guamos, y otras leguminosas forrajeras fijadoras de nitrógeno, así como otros tipos de cultivos.^{5,6} Estas condiciones de producción favorecen el mantenimiento de suelos sanos.

En la agricultura, es importante contar con suelos de buena calidad, debido

a su composición mineral y acuosa, considerando que las plantas toman del suelo el sustento necesario para su supervivencia.⁷ Pero es la materia orgánica la que tiene gran importancia en los suelos, ya que esta proviene de la descomposición por parte de microorganismos de seres vivos, como animales, plantas y otros microorganismos.⁸

Debido al papel tan importante que tiene el suelo en la agricultura, es necesario que permanezca en óptimas condiciones de salud, es decir, preservar sus características biológicas, físicas y químicas para funcionar dentro de un ecosistema y mantener su calidad sin afectar el ambiente.⁹ Las propiedades químicas del suelo son fundamentales debido a que estas permiten la disponibilidad de nutrientes esenciales en las plantas. Por esta razón, se han desarrollado productos agrícolas que permitan suplir los déficits nutricionales de las plantas, entre los cuales se destacan los fertilizantes, que pueden contener uno o más nutrientes.¹⁰ Uno de ellos es el conocido como Triple 15, el cual libera rápidamente sus nutrientes que incluyen: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cada uno en una proporción del 15 % de donde obtiene su nombre,¹⁰ de modo que estos elementos son primarios en el desarrollo de cualquier planta.¹²

El manejo de estos agroquímicos debe ser usado con mesura debido a que su sobreexposición puede generar una degradación del suelo provocada por la acidificación de este,¹³ además de la sobresaturación de nutrientes que puede

llevar a un crecimiento excesivo de plantas y afectar su productividad,¹⁴ así como de la posibilidad de que residuos del agroquímico lleguen a aguas subterráneas y las contaminen.¹⁵ En contraparte, se encuentran los fertilizantes de origen orgánico, los cuales pertenecen a un grupo conocido como bioinsumos que son una alternativa económica y ecológica para tratar los cultivos, ya que pueden provenir de fuentes renovables, como los residuos vegetales o el estiércol de algunos animales.¹⁶ Esto podría ayudar a reducir el uso de agroquímicos, ayudando no solo a mantener la salud en el suelo, sino también a mejorar la productividad de los cultivos.^{17,18} Las formas en las que pueden ser clasificados los bioinsumos es bioestimulantes, biopesticidas y biofertilizantes.¹⁹ En este último es donde se puede encontrar el compostaje, el cual es un abono de alta calidad elaborado a partir de la degradación de azúcares y proteínas de residuos orgánicos por parte de microorganismos, produciendo biomasa, calor y agua.^{8,20} Estos pueden encontrarse de forma cerrada en reactores o expuestas al aire en sistemas abiertos.²¹

Los procesos de compostaje pueden demorar alrededor de 170 días,²² pero esto se ve influenciado por una serie de factores los cuales afectan el metabolismo de los microorganismos.²³ El primero de ellos es el tamaño de las partículas a metabolizar debido a que estos deben ser triturados para que su procesamiento sea más efectivo, pero cuidando de que no queden demasiado pequeños, ya que

pueden evitar la circulación de aire.²⁴ La relación carbono-nitrógeno influye directamente en la velocidad del proceso, ya que, si esta se encuentra en valores bajos, el proceso es más rápido debido a los excesos de amonio.²⁵ El pH en el que se desarrollan los microorganismos debe ser en valores neutros, puesto que a un pH ácido los microorganismos se pueden ver inhibidos. Este proceso se puede ver influenciado por la liberación de CO₂ al medio favoreciendo la liberación de ácidos grasos y, por consiguiente, el crecimiento de algunas especies de hongos.^{26,27} Otro factor influyente es la humedad, debido a que el proceso de compostaje requiere que esté en valores adecuados, de modo que esta es otorgada por los residuos orgánicos presentes, su rango puede variar entre el 40 % y el 60 %; de encontrarse en un valor superior, se corre el riesgo de generar una anaerobiosis, lo que disminuiría la velocidad de degradación.^{23,24,28} Por último, la temperatura en la cual se realice el proceso presentará variaciones a lo largo del desarrollo de este, ya que las diferentes fases se ven afectadas por el desarrollo microbiano.²⁶ En total, el proceso del compostaje cuenta con cuatro fases principales, las cuales son mesófila, termófila, fase de enfriamiento y fase de maduración.²⁹

Considerando la gran cantidad de residuos agroindustriales generados, que causan un aumento en la contaminación, y los altos costos que pueden llegar a presentar los agroquímicos, cuya aplicación impacta considerablemente

la condición de salud de suelos y aguas, se resaltan en la actualidad las políticas de aprovechamiento de residuos, en las que se observa cada día un auge en la búsqueda de bioinsumos que permitan el aprovechamiento de los residuos agroindustriales. ¿Es posible evidenciar cambios en algunas características fisicoquímicas y microbiológicas de suelos con la adición de residuos orgánicos?

Sobre estos residuos se tiene poco conocimiento de sus características microbiológicas, además de la diversidad de las propiedades fisicoquímicas que presentan. De acuerdo con la NTC 5167:2022,³⁰ entre las características fisicoquímicas más relevantes que deben monitorearse están el contenido de metales pesados, pH y el contenido de carbono orgánico, mientras entre las características microbiológicas deben tenerse en cuenta las pruebas de *Salmonella* spp. y de coliformes totales y fecales.

Considerando lo anterior, la generación de materiales compostados a partir de residuos orgánicos, que pueden provenir de grandes hectáreas o de formas caseras, estarían favoreciendo la producción de nuevos productos agrícolas revalorizados, con propiedades beneficiosas para las plantas, en los cuales intervienen de manera prioritaria una diversa comunidad microbiana, lo cual evidencia que la tecnología del compostaje completa el ciclo biológico de un compuesto orgánico

retornando al suelo para formar un nuevo ciclo productivo.³¹

Con el fin de abordar el tema descrito, esta investigación se basó en evaluar diferentes aspectos fisicoquímicos y microbiológicos de diferentes opciones de obtención de bioinsumos a partir de residuos orgánicos. Para ello, se evaluaron en las características fisicoquímicas aspectos como el pH, el porcentaje de cenizas, el porcentaje de humedad y el porcentaje de materia orgánica, así como las características microbiológicas, como el conteo de mesófilos y mohos y levaduras en suelos enriquecidos por la adición de materiales orgánicos en un suelo. Finalmente, se evaluó el efecto de la germinación y el crecimiento en las primeras etapas de desarrollo en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

METODOLOGÍA

Toma de muestra de suelo

La muestra de suelo fue tomada en el sendero ecológico que se encuentra en el campus de la Universidad Libre Seccional Pereira (4°48'18"N 75°45'36"W), aproximadamente a 500 m desde la entrada ubicada cerca de la zona del parqueadero de la Sede Belmonte, se seleccionó un punto que estuviera cubierto de vegetación y lejano del camino principal, donde se realizó un hoyo de aproximadamente 15 cm de profundidad y se tomó una muestra

de aproximadamente 3 kg de suelo, la cual se encontraba con un color oscuro y aroma a tierra húmeda; se evitó tomar residuos del material vegetal presente en la zona donde se tomó la muestra de suelo.

Preparación de los tratamientos

Para este estudio, se usaron cuatro tipos de residuos orgánicos (cáscara de huevo, cáscara de plátano, cáscara de banano y residuos de poda) provenientes del campus de la Universidad Libre Sede Belmonte, los cuales fueron cortados en pequeños trozos con ayuda de un bisturí;

seguido de esto se pesaron y distribuyeron en los diferentes tratamientos a evaluar.

Se analizaron cinco tratamientos: tres de estos contenían residuos orgánicos mezclados con muestra de suelo, mientras los otros dos fueron un control negativo, el cual solo era muestra de suelo sin adiciones, y un control positivo, el cual contenía muestra de suelo con adición de Triple 15 en el momento de la siembra. La Tabla 1 indica las cantidades usadas de suelo y de cada uno de los residuos orgánicos por tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos planteados para el análisis de material compostado utilizado por unidad experimental

Tratamiento	Suelo (g)	Cáscara huevo (g)	Cáscara plátano (g)	Cáscara banano (g)	Poda (g)
1	300	0	0	0	0
2	150	75	75	0	0
3	150	0	0	150	0
4	150	0	0	0	150
5	300	0	0	0	0

Cada uno de los tratamientos se mezclaron con el fin de generar una adecuada homogeneización del suelo con los residuos orgánicos. A continuación, se adicionó agua y se taparon con plástico para protegerlos de la presencia de plagas y a este se le hizo orificios para permitir la entrada y salida del aire, se ubicaron en condiciones controladas de humedad y temperatura, con luz natural en el Laboratorio de Biología de la Universidad Libre Seccional Pereira Sede Belmonte.

Durante un lapso de cuatro semanas, se permitió un periodo de descomposición

de los residuos, durante este tiempo se mezclaron cada uno de los tratamientos con el fin de propiciar una adecuada fluctuación del oxígeno. Además, se monitoreó la humedad presente, y en los casos en los cuales esta fuera poca, se adicionaba agua.

Evaluación de variables fisicoquímicas y microbiológicas

Transcurridas las cuatro semanas para el componente fisicoquímico, se realizaron dos monitoreos con un intervalo de 15 días de las condiciones fisicoquímicas,

como pH, temperatura, porcentaje de cenizas, porcentaje de humedad y materia

orgánica de cada uno de los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Variables respuestas fisicoquímicas y microbiológicas analizadas

Fisicoquímico	Metodología	Microbiológico	Metodología
pH	Potenciométrico (1:1) en agua ³²	Mesófilos	Diluciones seriadas (10^{-7} y 10^{-8}) y vertido en placa (agar nutritivo) ³³
Temperatura	Termómetro ³⁴	Mohos y levaduras	Diluciones seriadas (10^{-7} y 10^{-8}) y vertido en placa (Agar PDA) ³⁵
% cenizas	Gravimétrico a 400 °C ³⁶	Fijadores de nitrógeno	Diluciones seriadas (10^{-3} y 10^{-4}) y vertido en placa (agar Ashby) ³⁷
% humedad	Gravimétrico a 105 °C ³²	Solubilizadores de fósforo	Diluciones seriadas (10^{-3} y 10^{-4}) y vertido en placa (Agar SMRS1) ³⁸
f % materia orgánica	A partir de las cenizas ³⁹	Solubilizadores de potasio	Diluciones seriadas (10^{-3} y 10^{-4}) y vertido en placa (agar Pikovskaya modificado) ⁴⁰

Para el componente microbiológico, se realizaron en total dos monitoreos con un intervalo de 15 días, se evaluaron microorganismos mesófilos, mohos y levadura y, además, se evaluaron microorganismos con características de promoción de crecimiento vegetal, como los fijadores de nitrógeno y los solubilizadores de fósforo (P) y potasio (K). Para este análisis, se tomaron 10 g de muestra de cada uno de los tratamientos y se diluyeron en frascos con 90 mL de agua peptonada estéril; a continuación, se colocaron en agitación continua durante 1 hora; esta se consideró la dilución 10^{-1} ; posteriormente, se tomó 1 mL de cada uno de los frascos y se diluyó en tubos de ensayo con 9 mL de agua peptonada estéril, esta dilución se consideró 10^{-2} , procedimiento que se realizó hasta llegar a la dilución 10^{-8} . Se realizaron siembras masivas por superficie en cada medio de cultivo y se dejaron incubando a $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durante 48 horas, excepto el PDA que

se dejó a temperatura ambiente durante 7 días. Las diluciones sembradas según el tipo de microorganismo analizado se encuentran contempladas en la Tabla 2. Para la lectura de los medios, se utilizó conteo directo de UFC/ml acorde con la normatividad vinculada a cada prueba.

Además, se realizaron identificaciones macroscópica y microscópica de algunas de las colonias de microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Para el caso de las bacterias, se realizó tinción de Gram y para los hongos se efectuaron improntas y se tiñeron con azul de lactofenol, para determinar sus características morfológicas.

Evaluación de los tratamientos

En cada tratamiento, se sembraron 15 semillas de frijol *Phaseolus vulgaris* de la variedad cargamanto rojo. Durante los 10 días posteriores a la siembra de las

semillas, se realizó seguimiento al proceso de germinación y posteriormente se tomaron mediciones del tamaño de raíces, tallo y número de hojas emergentes.

Análisis estadístico

En síntesis, se estableció un diseño experimental de cinco tratamientos con tres repeticiones para cada uno de los tratamientos y análisis de las variables.

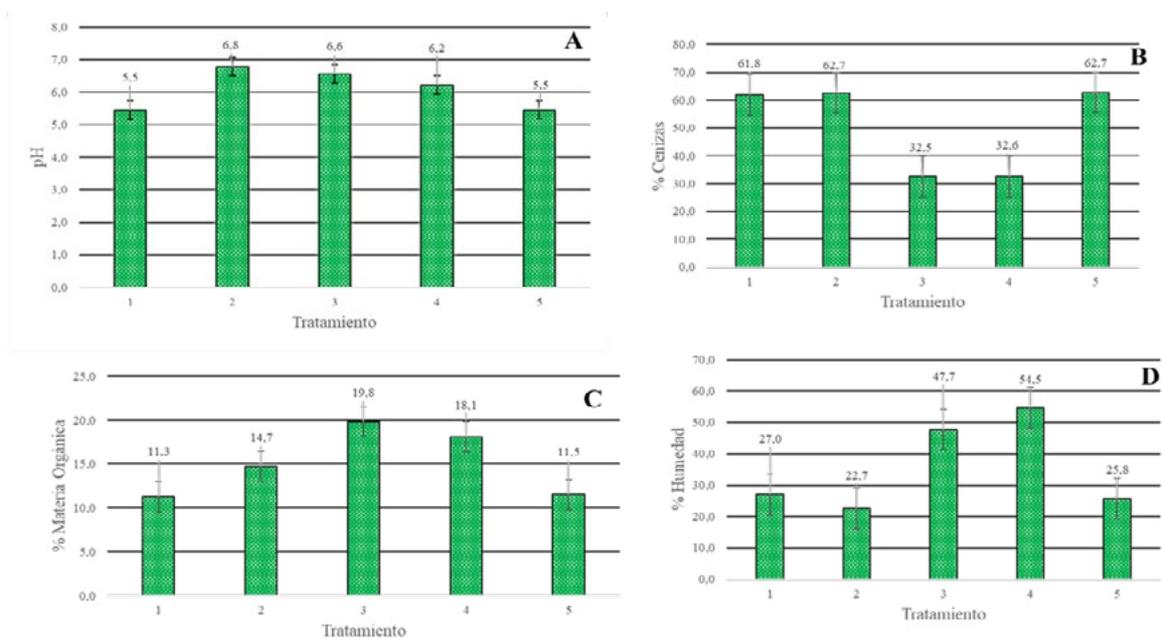
Se realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del *software* estadístico InfoStat 2020⁴¹ y Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Variables fisicoquímicas

En la Figura 1, se pueden encontrar los resultados obtenidos durante la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los tratamientos, siendo 1 el control negativo, 2 el tratamiento que cuenta con mezcla de cáscara de huevo y cáscara de plátano, 3 el tratamiento que contiene cáscara de banano, 4 el tratamiento que contiene residuos de poda de la Universidad ad Libre, y finalmente 5 el control positivo.

Figura 1. Variables de respuesta fisicoquímica



La Figura 1A representa los resultados obtenidos en la variable del pH, en la cual no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos, debido a que se usó el mismo suelo para todos los tratamientos como materia prima inicial; pero se pudo evidenciar que en aquellos tratamientos en los que se adicionaron residuos sí se presenta una variación del pH.

La Figura 1B muestra los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de cenizas, en la que se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). En la Figura 2, se puede observar que los tratamientos 3 (banano) y 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) presentaron un menor porcentaje de cenizas en comparación con los otros tratamientos.

En la Figura 1C, se representan los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de materia orgánica, en la que se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). En esta se puede observar que los tratamientos 3 (banano) y 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) presentaron un mayor porcentaje de materia orgánica en comparación con los otros tratamientos.

Finalmente, en la Figura 1D, se retratan los resultados obtenidos del porcentaje

de humedad, en la que se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). En la Figura 3, se puede observar que los tratamientos 3 (banano) y 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) presentaron un mayor porcentaje de humedad en comparación con los otros tratamientos.

Según estos resultados, se puede afirmar que los tratamientos 3 (banano) y 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) fueron los que presentaron más cambios fisicoquímicos a lo largo del estudio; por el contrario, el tratamiento 2 (cáscara de huevo + cáscara de plátano) presentó una baja cantidad de cambios, pues sus parámetros fisicoquímicos se encontraron muy similares en comparación con los tratamientos que no tenían adición de residuos orgánicos.

Los parámetros fisicoquímicos pueden influir en gran medida la calidad del compost, pues, si estos no se encuentran en los niveles adecuados, se puede ver afectado el crecimiento microbiano. Un ejemplo de esto es la humedad, la cual debe estar entre el 50 % y el 70 % para que el crecimiento microbiano sea óptimo, pues, si se encuentra en niveles muy bajos, la actividad microbiana disminuirá en gran medida; y por el contrario, si esta se encuentra en niveles muy altos, generará un ambiente carente de oxígeno, y por esta razón el proceso de descomposición será mucho más

demorado.⁴² Al evaluar y comparar esto con los resultados obtenidos, se evidencia que solo el tratamiento 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) se encuentra en el rango óptimo con un 54,7 %, seguido del tratamiento 3 (banano), el cual, si bien no se encuentra entre el rango óptimo, está muy cercano a este con un 47,7 %, resultados que indican que ambos tratamientos propician un ambiente adecuado en torno a la humedad para la actividad microbiana. Por otro lado, el tratamiento 2 (cáscara de huevo + cáscara de plátano) no contó con niveles adecuados de humedad, pues se encontraba muy por debajo del rango con un 22,7 %, siendo, incluso, más bajo que los que no tenían adición de residuos, los cuales tuvieron un 27,0 % para el tratamiento 1 y un 25,8 % para el tratamiento 5.

En términos de porcentaje de cenizas, la NTC 5167:2022 menciona que, para abonos orgánicos sólidos a partir de residuos orgánicos vegetales, debe ser máximo del 60 %.³⁹ Al comparar esto con los resultados obtenidos, se evidencia que los tratamientos 3 (banano) y 4 (residuos de poda provenientes de la Universidad Libre Seccional Pereira) se encuentran por debajo del límite con un porcentaje del 32,5 % y el 32,6 %, respectivamente.

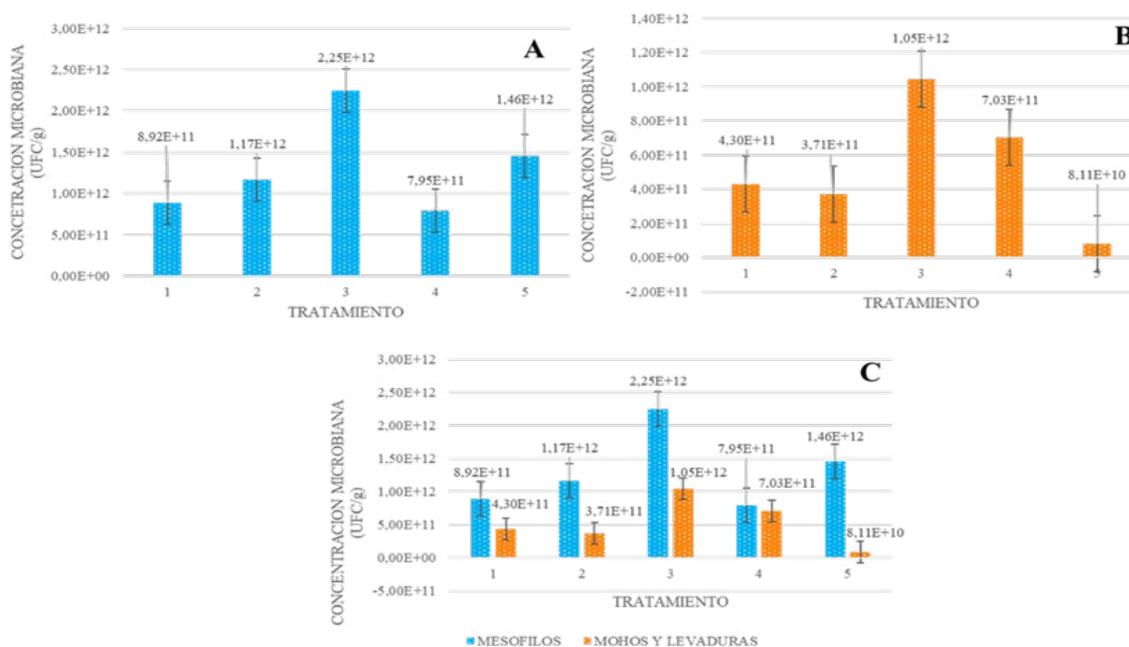
Por otro lado, el porcentaje de cenizas del tratamiento 2 se encuentra sobre el límite con un 62,7 %, lo cual quiere decir que no cumple con el requisito establecido por la norma colombiana; los tratamientos 1 y 5 no se toman en cuenta para ser evaluados bajo esta norma, pues no tienen adición de residuos.

El porcentaje adecuado de materia orgánica en el compost debe ser mayor del 20 %.⁸ En el momento de comparar esto con los resultados obtenidos, se encontró que ninguno de los tratamientos cumple con este requisito; sin embargo, el tratamiento 3 se encontraba muy cercano con un 19,8 %, seguido del tratamiento 4 con un porcentaje del 18,1 %; por su parte, el tratamiento 2 se encontraba con un 14,7 % de materia orgánica.

Variables microbiológicas

La Figura 2 demuestra los resultados obtenidos en las variables de microorganismos mesófilos y de los mohos y las levaduras por tratamiento (1 control negativo, 2 cáscara de huevo con cáscara de plátano, 3 cáscara de banano, 4 residuos de poda de la Universidad Libre Seccional Pereira, 5 control positivo), cuyos resultados se encuentran expresados en UFC/g de muestra a.

Figura 2. Variables de respuesta microbiológicas



La Figura 2A representa los resultados obtenidos para microorganismos mesófilos, en la que se evidenció una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). El tratamiento que tuvo una mayor concentración de microorganismos mesófilos es el número 3, el cual correspondía a banano, caso contrario al tratamiento 4 correspondiente a residuos de poda, el cual fue el que tuvo una menor concentración de este tipo de microorganismos.

Para los tratamientos 1 y 2, la concentración de microorganismos mesófilos fue similar, mientras para el tratamiento 5 la concentración de microorganismos mesófilos presentó diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 2B muestra los resultados obtenidos en cuanto a la concentración de mohos y levaduras en cada uno de los tratamientos, en la que se evidenció una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). Para la concentración de mohos y levaduras en los tratamientos 1 y 2, no hubo diferencias estadísticamente significativas; sin embargo, el tratamiento 3 se presentó nuevamente como la alternativa con mayor crecimiento.

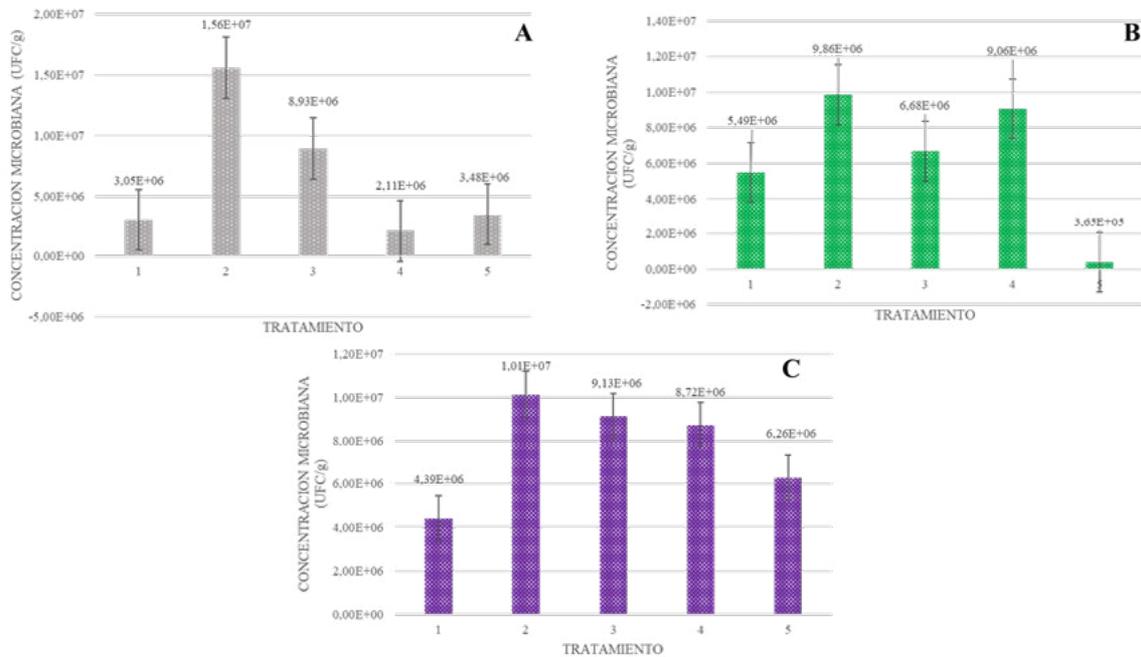
El tratamiento 4 presentó una concentración variable en comparación con los otros tratamientos, debido a que es menor que el tratamiento 3 y mayor que los demás tratamientos.

La Figura 2C muestra la comparación de los resultados obtenidos en cuanto a

la concentración de microorganismos mesófilos y mohos y levaduras en cada uno de los tratamientos durante el estudio.

En cuanto a los microorganismos promotores de crecimiento vegetal, los resultados obtenidos se reflejan en la Figura 3.

Figura 3. Variable de respuesta de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal según su función



La Figura 3A representa la concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno en cada uno de los tratamientos, en la que se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). El tratamiento que mejor desempeño presentó con respecto a la concentración de estos microorganismos fue el 2, mientras el que tuvo rendimientos más bajos fue el 4. Por su parte, los tratamientos 1 y 5 no presentan una diferencia estadísticamente significativa entre ellos.

Por otro lado, la Figura 3B deja ver la concentración de microorganismos solubilizadores de P en cada uno de los tratamientos, en la que se evidenció una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). Los tratamientos que tuvieron una mayor concentración de microorganismos solubilizadores de P fueron los tratamientos 2 y 4, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí; por su parte, el tratamiento 5 fue el que presentó menor concentración.

La Figura 3C representa los resultados obtenidos en cuanto a la concentración de microorganismos solubilizadores de K en cada uno de los tratamientos, en la que se evidenció una diferencia estadísticamente significativa de acuerdo con el análisis no paramétrico ($p < 0,05$). Los tratamientos que tuvieron mayor concentración de microorganismos solubilizadores de potasio fueron los tratamientos 2 y 4, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí; por su parte, el tratamiento 5 fue el que presentó una menor concentración. Los tratamientos 2, 3 y 4, que son aquellos en los que se adicionaron residuos, no generaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, mientras los tratamientos 1 y 5 sí generan estas diferencias.

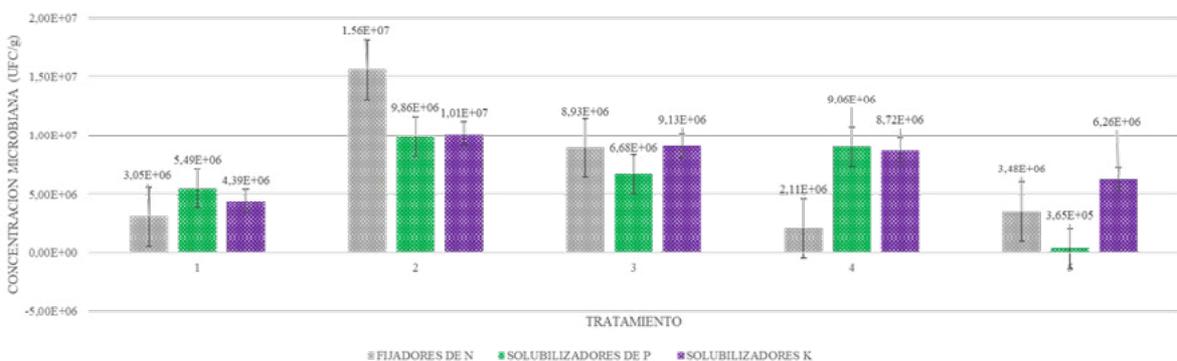
La Figura 4 muestra el comparativo de la concentración de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en cada uno de los tratamientos analizados.

Se evidenció que los tratamientos 2 (cáscara de huevo + cascara de plátano),

3 (banano) y 4 (residuos de poda de la Universidad Libre Seccional Pereira) tuvieron mejores rendimientos a la hora de recuperar microorganismos promotores de crecimiento vegetal, presentando solo variación en la concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno, más específicamente en el tratamiento 4.

Los resultados permiten evidenciar que la concentración de microorganismos mesófilos varió según el tratamiento, lo cual se podría deber a la fase de compostaje en la cual se encuentra cada uno de ellos. La primera fase, la mesófila, puede variar en días o en horas, es conocida como la de higienización, en la cual la temperatura aumenta y puede eliminar microorganismos patógenos. La segunda fase es la de enfriamiento, en la cual la temperatura disminuye y los microorganismos mesófilos retoman su actividad; por esta razón, es probable que la concentración de microorganismos mesófilos varíe entre un tratamiento y otro.⁴³

Figura 4. Comparativo entre los microorganismos promotores de crecimiento vegetal



La concentración de mohos y levaduras también varió entre un tratamiento y otro. En el compostaje, la concentración de mohos y levaduras generalmente es el doble que la concentración de organismos bacterianos;⁴⁴ teniendo en cuenta esto, se comparó tal concentración con la de mesófilos, de esta manera se evidenció que los tratamientos no cumplen con lo mencionado, pues es menor en todos los tratamientos; cabe aclarar que, en el caso del tratamiento 4, presentó concentraciones similares, pues la de mesófilos se encontraba en $7,95 \cdot 10^{11}$ UFC/g de muestra y la de mohos y levaduras en $7,03 \cdot 10^{11}$ UFC/g de muestra.

En este estudio, los microorganismos promotores de crecimiento vegetal desempeñan un papel importante, debido a que permiten que las plantas tengan disponibles los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo; estos microorganismos son una alternativa sustentable a los fertilizantes de origen químico.⁴⁵ Por esta razón, se identificaron con medios de cultivo adecuados para su crecimiento; se analizaron microorganismos fijadores de nitrógeno, los cuales son únicamente de origen procariota, microorganismos que fijan el nitrógeno gaseoso mediante enzimas nitrogenasas en amoníaco, el cual es tóxico para el organismo; sin embargo, usualmente se convierte en aminoácidos que las bacterias usan para su crecimiento: cuando estas mueren, dichos aminoácidos se liberan al ambiente y pueden ser usados por las plantas o por otros microorganismos presentes en el suelo.^{46,47} Según los

resultados obtenidos, el tratamiento que mayor concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno tenía fue el tratamiento 2, con una concentración promedio de $1,56 \cdot 10^7$ UFC/g de muestra; por el contrario, el tratamiento 4 fue el que tuvo menor concentración de este tipo de microorganismos con una concentración promedio de $2,11 \cdot 10^6$ UFC/g de muestra; al realizar una caracterización macroscópica del crecimiento de las colonias, se encontró que en su mayoría eran de color crema y otras transparentes con textura mucosa y con un halo a su alrededor; al realizar tinción de Gram, se encontró que se trataba de bacilos gramnegativos, que, según estas características, podría tratarse de *Azotobacter*.⁴⁸

Por otro lado, también se estudiaron microorganismos solubilizadores de P y de K, los cuales vuelven solubles estos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas mediante la producción de ácidos orgánicos.⁴⁹ Según los resultados obtenidos en cuanto a los microorganismos solubilizadores de P, los tratamientos a los cuales se les añadió residuos orgánicos presentaron mayor concentración microbiana en comparación con los tratamientos que no tenían residuos adicionados; el tratamiento 2 presentó mayor concentración con un total de $9,86 \cdot 10^6$ UFC/g de muestra, seguido del tratamiento 4, el cual presentó una concentración de $9,06 \cdot 10^6$ UFC/g de muestra; en este grupo de microorganismos, se encontró una gran variedad de hongos, entre los cuales se identificó la presencia de hongos

como *Trichoderma* spp., *Penicilium* spp., *Geotrichum* spp. y *Aspergillus* spp., los cuales han sido reportados como solubilizadores de P en diversos estudios.⁵⁰⁻⁵²

En cuanto a los microorganismos solubilizadores de K, se encontraban en mayor concentración en el tratamiento 2, con un total de $1,01 \cdot 10^7$ UFC/g de muestra, seguido del tratamiento 3, el cual presentó una concentración de $9,13 \cdot 10^6$ UFC/g de muestra; en este grupo de microorganismo, también se presentó una gran variedad de hongos, entre los cuales mediante tinción se identificaron especies como *Penicilium* spp. y *Aspergillus* spp., los cuales se han reportado en diversos estudios como microorganismos con la capacidad de solubilizar potasio.^{40,53,54}

Cabe anotar que, entre las especies de hongos identificadas en el tratamiento

3 (banano), se encontraba *Fusarium* spp., el cual es un hongo que, a pesar de estar presente en el suelo cumpliendo funciones de descomposición, puede causar marchitamiento y pudrimiento en las plantas; por esta razón, este hongo puede generar grandes pérdidas a los agricultores,⁵⁵ por lo cual se debe tener presente a la hora de revisar los bioinsumos.

Variables morfológicas de las plántulas

Durante un periodo de una semana se realizó el seguimiento de germinación de las semillas de frijol, llevando el registro del número de semillas germinadas, de modo que fueron los tratamientos 4 y 5 los que tuvieron una mayor cantidad de semillas germinadas, mientras el tratamiento 3 fue el que tuvo la más baja cantidad.

Figura 5. Variables de respuesta morfológica.

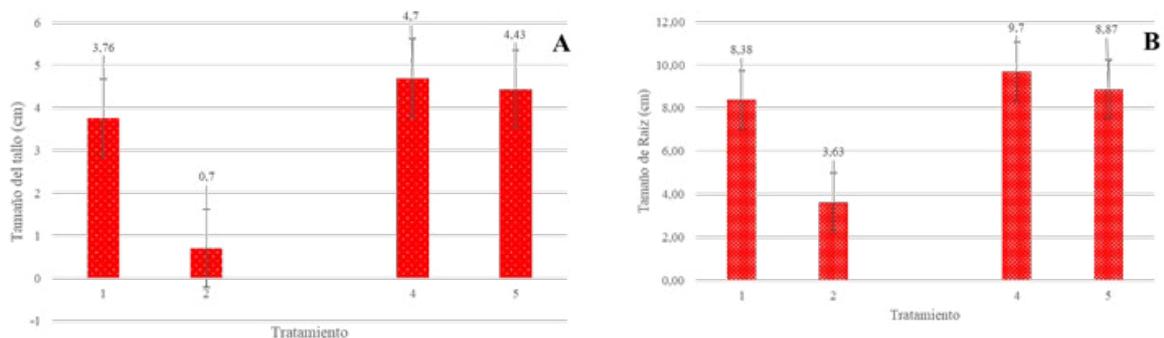


Gráfico elaborado con Microsoft Excel 2016.

El tratamiento 3 es obviado debido a que no se presentó germinación por contaminación en las semillas.

Fue posible observar cómo el tamaño de las raíces varió comparándolas en aquellos tratamientos que contenían residuos; sin embargo, no en todos fue satisfactorio, debido a que 14 semillas del tratamiento 3 no tuvieron germinación, lo que corresponde a un 94 % del total de semillas plantadas; mientras 1 semilla sí presentó un brote de raíz, pero no logró un tamaño diferente al paso de los días. Para los tratamientos 1, 4 y 5, el tamaño de las raíces fue amplio en comparación con el tratamiento 2 en el que, aunque hubo raíces, no alcanzaban una longitud considerable.

En el tamaño de los tallos, se hace más notoria la diferencia que hay entre los tratamientos 1, 4 y 5 con los tratamientos 2 y 3, debido a la pobre germinación que hubo en estos. Por su parte, se puede evidenciar que aquellas plántulas que crecieron en el tratamiento 4 alcanzaron una mayor altura en comparación con el tratamiento 5 y 1, respectivamente.

Los porcentajes de germinación en los diferentes bioindicadores dieron muestra de que no todos los tratamientos resultaron aptos para su uso, ya por tener rendimientos menores a los esperados como en el caso del tratamiento 2, ya en el caso del tratamiento 3, el cual se vio fuertemente afectado por una invasión fúngica, evidenciado en que tan solo una de 15 semillas sembradas logró germinar,

pero no pasó de la aparición de raíces. Tal como se menciona en estudios anteriores,⁵⁶ *Fusarium* tiene la capacidad de pudrir las raíces acentuándose en los tejidos de transporte de agua en la planta, y así evitar su crecimiento. Pero este patógeno puede afectar también las semillas en una afectación conocida como muerte preemergente, generar lesiones ovales, hundimiento en las semillas y coloración café rojiza de característica seca, tal y como se presentaban las semillas a la hora de revisarlas.⁵⁷

La forma en que estas plántulas fueron medidas fue tomando como límite su raíz de mayor tamaño o la raíz central según sea el caso hasta la base de estas; mientras para la medición de tallos se realizó desde el ápice hasta la base de las raíces.

Aquellas plantas que lograron superar los 5 cm de altura presentaban presencia de hojas, algo que indica fortaleza en las plantas. Especialmente, aquellas presentes en los tratamientos 4 y 5 fueron en las que mayor cantidad de presencia de hojas se presentó; teniendo en cuenta que todas las plantas se encontraban en igualdad de condiciones ambientales, no hay sesgos que puedan denotar mayor facilidad en algún tratamiento en específico.

Cabe aclarar que los tratamientos se encontraban en una zona donde podían recibir luz solar de forma igualitaria y lejana a la luz artificial. Tampoco se tuvieron en consideración los efectos generados por las hormonas naturales que contienen los frijoles.

CONCLUSIONES

El tratamiento 2 (cáscara de huevo + cáscara de plátano) fue el único que cumplió lo mencionado por la NTC 5167:2022 en cuanto al porcentaje de cenizas; sin embargo, su porcentaje de humedad fue el más bajo de todos los tratamientos estudiados, además, presentó altas concentraciones de microorganismos de crecimiento vegetal; sin embargo, tuvo bajo porcentaje de germinación.

El tratamiento 4 (residuos de poda), a pesar de que tuvo un porcentaje de cenizas más bajo del mencionado por la NTC 5167:2022, fue el único que se encontraba en el rango de porcentaje de humedad recomendado por los autores, además, presentó altas concentraciones de microorganismos solubilizadores de P y K; este tratamiento fue el que mejor porcentaje de germinación presentó con un 100 % de semillas germinadas.

A pesar de que el tratamiento 3 presentó condiciones fisicoquímicas y microbiológicas similares a las del tratamiento 4, la germinación no fue la esperada, pues fue el tratamiento que tuvo menor porcentaje de germinación.

Las condiciones fisicoquímicas presentan una fuerte influencia en el crecimiento de microorganismos, debido a que estas

ayudan al organismo a adaptarse al medio, por lo que se debe garantizar que sean óptimas.

Fue posible encontrar microorganismos promotores de crecimiento vegetal en el tratamiento enriquecido con residuos de plátano y huevo, pero estos no pudieron aportar una diferencia significativa a su respectivo tratamiento, por lo que no logran ser una competencia con los agroquímicos.

A pesar de ser una rica fuente de microorganismos, tanto de carácter bacteriano como de mohos y levaduras, el tratamiento 3 fue el que menos favoreció germinación.

Se requiere que en el futuro haya mayores estudios en este tema con diferentes tipos de residuos para intentar encontrar mejores fuentes de enriquecimiento vegetal que sean sustentables con el medio ambiente, y así evitar el ya avanzado deterioro de nuestros suelos.

Es posible disminuir el uso de agroquímicos en los cultivos comerciales, debido a que hay opciones sustentables, como los residuos de poda que pueden generar, incluso, mayores beneficios en estos, y así ayudar a disminuir las afectaciones del suelo y la cantidad de desechos que se generan día tras día.

REFERENCIAS

1. Baena Salazar D, Fuentes Hernández J, Pino Reyes L, et al. Contexto Regional Andina. Observatorio Regional ODS [internet]. 2020. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/47782/Informe%20Regi%c3%b3n%20Andina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Pallarez M. Tipos de suelos y formas de tratarlos a favor de la ganadería [internet]. 2015. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/revisada-tipos-de-suelos-y-formas-de-tratarlos-favor-de-la-ganaderia>
3. Comisión de la Verdad. Antioquia y Eje Cafetero [internet]. 2022. <https://web.comisiondelaverdad.co/en-los-territorios/despliegue-territorial/antioquia-y-eje-cafetero>
4. Ballesteros Angulo MM, Escudero Valderrama D. Eje Cafetero: de centro productor de café a principal punto turístico de grano en el país [tesis de grado]. [Bogotá: Universidad del Rosario; 2019. https://doi.org/10.48713/10336_20992
5. Matilla G, De la Torre LS, Gómez CE, et al. Los suelos: estabilidad, productividad y degradación. En: El medio ambiente en Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; 2001. p. 229-277. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/18777/43833_55592.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. Paisaje Cultural Cafetero. El paisaje cultural cafetero declarado como patrimonio mundial [internet]. 2022. <http://paisajeculturalcafetero.org.co/contenido/descripcion>
7. Van Konijnenburg A. Agricultura orgánica el suelo: sus componentes físicos [internet]. 2006. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_\(1\).pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf)
8. Roman P, Martínez MM, Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor : experiencias en América Latina. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, 2013. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
9. Burbano Orjuela H. La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. Tendencias. 2017;18(1):118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>

10. Hugh S. Fertilizers and their use [internet]. 2021. <http://repo.upertis.ac.id/1631/1/-Fertilizers%20and%20Their%20Use-Agricultural%20Extension%20Service.pdf>
11. Diproagro. Ficha Técnica Triple 15 El Ruso [internet]. 2021. <https://diproagro.com/wp-content/uploads/2021/06/FICHA-TECNICA-TRIPLE-15.pdf>
12. Yara International. Fertilizer Industry Handbook 2018 [internet]. 2018. <https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018-with-notes.pdf/>
13. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Acidificación del suelo. [internet]. 2016. <https://www.fao.org/3/i6467s/i6467s.pdf>
14. Gaspar A. Saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico [internet]. 2019. <https://www.corteva.es/agronomia-y-servicios/informacion-agronomica/saturacion-de-bases-y-capacidad-de-intercambio-cationico.html>
15. Haifa Group. Fertilizantes químicos: ventajas y desventajas [internet]. 2022. [https://www.haifa-group.com/es/haifa-blog/fertilizantes-qu %C3 %ADMICOS-ventajas-y-desventajas](https://www.haifa-group.com/es/haifa-blog/fertilizantes-qu%C3%ADMICOS-ventajas-y-desventajas)
16. Green BW. Fertilizer use in aquaculture. En: Davis A, editor. Feed and feeding practices in aquaculture. 2.^a ed. Sawston: Woodhead Publishing; 2022. p. 29-63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00012-6>
17. Shaji H, Chandran V, Mathew L. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. En: Lewu FB, Volova T, Thomas S, editores. Controlled release fertilizers for sustainable agriculture. Amsterdam: Elsevier; 2021. p. 231-245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>
18. Singh RP. Organic fertilizers: types, production and environmental impact. Hauppauge: Nova Science Publishers; 2012.
19. Mamani de Marchese A, Filippone MP. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. Rev Agron Noroeste Arg. 2018;38(1):9-21. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ranar/v38n1/v38n1a01.pdf>
20. Amigos de la Tierra. Manual de compostaje [internet]. 2015. https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf

21. Roca Fernández AI. Factores que influyen en el proceso de compostaje de residuos [internet]. 2022. https://www.infoagro.com/documentos/factores_que_influyen_proceso_compostaje_residuos.asp
22. Medina Lara MS, Quintero Lizaola R, Espinosa Victoria D, et al. Generación de un inoculante acelerador del compostaje. *Rev Argent Microbiol.* 2018;50(2):206-210. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.010>
23. Bohórquez Santana W. El proceso de compostaje. Bogotá: Universidad de La Salle; 2019. <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>
24. Corantioquia. Cartilla técnica de compostaje para residuos domiciliarios separados en la fuente [internet]. 2010. https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/residuos%20solidos/ga_cn_8650_2010.pdf
25. Bueno Márquez P, Díaz Blanco MJ, Cabrera Capitán F. Factores que afectan al proceso de compostaje. En: De Moreno Casco J, Moral Herrero R, editores. Madrid: Mundi-Prensa. *Compostaje.* p. 95-109.
26. Oviedo-Ocaña ER, Marmolejo-Rebellon LF, Torres-Lozada P. Evaluation of the addition of wood ash to control the pH of substrates in municipal biowaste composting. *Ingeniería, Investigación y Tecnología.* 2014;15(3):469-478. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70355-5](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70355-5)
27. Robles Mitma MB. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2015.
28. Zakarya IA, Khalib SNB, Mohd Ramzi N. Effect of pH, temperature and moisture content during composting of rice straw burning at different temperature with food waste and effective microorganisms. *E3S Web of Conferences.* 2018;34:02019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402019>
29. Meena AL, Karwal M, Dutta D, et al. Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter.* 2021;1:85-90.

30. Icontec. Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Bogotá: Icontec; 2022.
31. Lett LA. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Rev Argent Microbiol.* 2014;46(1):1-2. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ram/v46n1/v46n1a01.pdf>
32. Icontec. NTC 5527 Fertilizantes. Análisis fisicoquímicos básicos. Bogotá: Icontec; 2021.
33. Britania. Nutritivo Agar [internet]. 2021. https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60707641dee11.pdf
34. Icontec. NTC 3248 Productos químicos para uso agropecuario. Fertilizantes en solución. Determinación de la temperatura de saturación. Bogotá: Icontec; 1991.
35. Insumolab. Agar papa dextrosa [internet]. 2022. https://www.insumolab.cl/descargas/industria/placas_90mm/ficha_tecnica/02.pdf
36. Icontec. NTC 4433 Té. Método para determinar el contenido de ceniza total. Bogotá: Icontec; 1998.
37. Duque JE, López R. Evaluación preliminar para aislamiento e identificación bioquímica de *Streptomyces* sp., a partir de un nicho ecológico del Campus Belmonte de la Universidad Libre, Seccional Pereira [internet]. 2022. <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/17609/EVALUACION%20PRELIMINAR%20PARA%20AISLAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
38. Becerra JM, Quintero D, Martínez M, et al. Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de suelos destinados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev Colomb Cienc Hortíc.* 2011;5(2):195-208. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v5n2/v5n2a04.pdf>
39. Icontec. NTC 5167 Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Bogotá: Icontec; 2022.
40. Velázquez-Gurrola A, Ramos-Alegría MP. Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas.

Lima: ProHass, 2015. https://www.avocadosource.com/WAC8/Section_04/VelazquezGurrolaA2015.pdf

41. InfoStat. Manual del usuario [internet]. 2008. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1
42. Rivero FA. Caracterización físico-química de compost obtenido a partir de residuos orgánicos alimenticios y poda de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” presidente prudente, Sao Paulo, Brasil [tesis doctoral]. [Mendoza]: Universidad Nacional de Cuyo; 2014. https://siip2019-2021.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/16895/tesis-completa-final-final-florencia-rivero.pdf
43. Alcaldía Mayor de Bogotá. Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá; 2014. https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
44. Dehghani R, Asadi MA, Charkhloo E, et al. Identification of fungal communities in producing compost by windrow method. *J Environ Prot (Irvine, Calif)*. 2012;3(1):61-67. doi: 10.4236/jep.2012.31008
45. Lopes MJ dos S, Dias-Filho MB, Gurgel ESC. Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. *Front Sustain Food Syst*. 2021;5:606454. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>
46. James EK. Nitrogen fixation. En: *Encyclopedia of applied plant sciences*. Ámsterdam: Elsevier; 2016. p. 271-277.
47. Bagali SS, Bandanawaz K, Shridhar, B. S. Nitrogen fixing microorganisms. *Int J Microbiol Res*. 2012;3(1):46-52. DOI: 10.5829/idosi.ijmr.2012.3.1.61103
48. Valderrama Aguirre LC. Evaluación de cepas nativas de *Azotobacter* spp. como agente reductor de urea en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp) [tesis doctoral]. [Cali]: Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/c06c06d5-e0cb-434c-8ba8-43256093c549>
49. Mursyida E, Mubarik NR, Tjahjoleks A. Selection and identification of phosphate-potassium solubilizing bacteria from the area around the limestone mining in Cirebon quarry. *Res J Microbiol*. 2015;10(6):270-279. <https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=scienceinternational/jm/2015/270-279.pdf>

50. Doilom M, Guo JW, Phookamsak R, et al. Screening of phosphate-solubilizing fungi from air and soil in Yunnan, China: four novel species in *Aspergillus*, *Gongronella*, *Penicillium*, and *Talaromyces*. *Front Microbiol.* 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.585215>
51. Bononi L, Chiaramonte JB, Pansa CC, et al. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth . *Sci Rep.* 2020;10(1):2858. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>
52. Wu Y, He Y, Yin H, et al. Isolation of phosphate-solubilizing fungus and its application in solubilization of rock phosphates. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 2012, 15(23):1144-1151 <https://doi.org/10.3923/pjbs.2012.1144.1151>
53. Prajapati K, Sharma MC, Modi HA. Isolation of two potassium solubilizing fungi from ceramic industry soils. *Life Sci Leaflets.* 2012;5:71-75.
54. Kurjogi M, Basavesha KN, Savalgi VP. Impact of potassium solubilizing fungi as biopesticides and its role in crop improvement. En: Jogaiah S, editor. *Biocontrol agents and secondary metabolites.* Ámsterdam: Elsevier; 2021. p. 23-39. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822919-4.00002-8>
55. Markakis EA, Fountoulakis MS, Daskalakis GCh, et al. The suppressive effect of compost amendments on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* in cucumber and *Verticillium dahliae* in eggplant . *Crop Protection.* 2016;79:70-79. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.10.015>
56. Plantix. Podredumbre de la raíz del frijol [internet]. 2022. <https://plantix.net/es/library/plant-diseases/100114/dry-root-rot-of-bean>
57. Navarrete Maya R, Trejo Albarrán E, Navarrete Maya J, et al. Reacción de genotipos de frijol a *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani* bajo condiciones de campo e invernadero. *Agric Téc Méx.* 2009;35(4):455-466. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n4/v35n4a11.pdf>