



<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

Actividad: Elaboración de documento sobre el proceso de compostaje, pulverización y mezclado de residuos orgánicos y de subproductos de la cosecha cafetera



Entregable1:

Documento técnico sobre el proceso, que incluye: Flujo del proceso, entrada y salida de insumos con sus características fisicoquímicas, humedad y nutrientes, estandarización de medidas y observaciones de opciones al proceso.

Introducción

La actividad cafetera se refiere al cultivo, producción y comercialización del café, una de las bebidas más consumidas a nivel mundial. Este proceso implica diversas etapas, desde la siembra y cuidado de los cafetos hasta la cosecha, procesamiento y distribución del café. La importancia de la actividad cafetera en la economía local y nacional es significativa por varias razones:

- 1. Generación de empleo:** La producción de café crea empleo en áreas rurales donde se cultiva, desde labores agrícolas hasta actividades relacionadas con el procesamiento y transporte del café.
- 2. Ingresos para los agricultores:** Los productores de café obtienen ingresos a través de la venta de sus cosechas, contribuyendo así a mejorar las condiciones de vida en las comunidades rurales.
- 3. Exportaciones e ingresos en divisas:** Muchos países dependen en gran medida de las exportaciones de café para obtener ingresos en divisas extranjeras. El café es un importante producto de exportación en muchas naciones tropicales.
- 4. Desarrollo de infraestructura:** La actividad cafetera puede impulsar el desarrollo de infraestructuras en las zonas rurales, como carreteras y sistemas de transporte, que son fundamentales para el transporte eficiente de los granos de café.
- 5. Cultivo sostenible:** El café cultivado de manera sostenible puede tener beneficios medioambientales, promoviendo prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente y la biodiversidad.

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

6. **Turismo:** En muchas regiones cafetaleras, el turismo relacionado con la visita a plantaciones de café o participación en festivales cafeteros contribuye a la economía local.

El café en Colombia alcanzó una producción destacada, convirtiéndose en un símbolo que impulsó la economía mediante la generación de ingresos para las familias caficultoras, especialmente aquellas conformadas por pequeños y medianos productores (Fernández-Cortés, Sotto-Rodríguez, & Vargas-Marín, 2020). La producción de café abarca diversas fases, desde el cultivo de los granos hasta su procesamiento y consumo final. A lo largo de este proceso, se generan distintos tipos de residuos que son inherentes a la actividad cafetera, los cuales serán abordados más adelante.

A continuación, se describirán las etapas de beneficio del café:

Flujo del proceso

Recolección del fruto

Consiste en la cosecha como un trabajo importante y minucioso que llevan a cabo los cafetaleros. Entre las responsabilidades de los caficultores como cultivar y mantener las plantaciones del café. Los caficultores saben el momento en que los frutos están en su punto de maduración, para conseguir una mejor cosecha con el fruto de un color intenso. El café requiere ser cosechado en el punto exacto ya que comprende un fruto no climatérico, es decir que se detiene la maduración al ser separado del árbol. (hsmMadrid, 2020)

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES

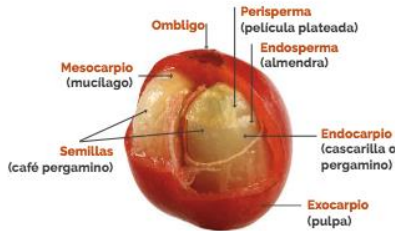


Ilustración 1. Partes del fruto del café.



Tomado de Rodríguez, 2023.

Transporte del fruto

El transporte de café puede ser realizado mediante diferentes técnicas, dentro de las que podemos encontrar: el uso del transporte animal, vagonetas, cable aéreo, cafeductos e incluso al hombro de los caficultores (Sanz-Urbe, Oliveros-Tascón, Ramírez, Peñuela-Martínez, & Ramos-Giraldo, 2013). Es importante resaltar que definir la manera de realizarlo depende de la disponibilidad de tecnologías o métodos sostenibles, distancia y facilidad de acceso del cultivo de café.



Ilustración 2. Imagen de transporte del fruto (Propia)

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

Recepción del fruto

Una vez se realiza la recolección y transporte del fruto fresco del café se pueden disponer de dos formas: en tolvas húmedas o tolvas secas. La diferencia entre los dos métodos radica en la forma como se redirigen los frutos que llegan hasta las máquinas disponibles para su beneficio. Es importante resaltar que, al emplear tolvas secas, se reduce el consumo y contaminación del agua, ya que solo dependerá de un ángulo adecuado para permitir la llegada de los frutos hacia la planta de beneficio (Sanz *et al.*, 2013).



Ilustración 3. Tolva completa con fruto (Propia)

Despulpado del café

En esta parte del proceso, debe realizarse dentro de las primeras seis horas de recolección del fruto. Allí se retira la pulpa (epicarpio) del café cereza, mediante una superficie fija y una móvil que proporcionan presión y fricción del fruto con las mismas, permitiendo la separación de la pulpa del grano (Álvarez, 1991).



<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		



Ilustración 4. Tornillo sin fin y producto del despulpado (Propia)

Remoción del mucílago y lavado

Mecánica

El mucílago presenta una textura gelatinosa, la cual queda expuesta cuando el fruto ya ha pasado por el proceso de despulpado. Esta parte del fruto se encuentra adherida a lo que conocemos como pergamino y gracias a su composición permite una gran capacidad para retener agua. Es importante que se logre obtener un grano limpio para evitar colaciones inadecuadas al momento del secado, por efecto de los residuos de mucílago que puedan quedar durante el proceso. Para esto, se ha venido empleando una técnica que permite el desmucilaginado, lavado y limpieza del fruto al mismo tiempo, denominada “Tecnología Deslim”. De hecho, con esta metodología se ha podido establecer un menor consumo específico de agua, cuando se realiza de manera adecuada (Sanz *et al.*, 2013).

Subproductos del beneficio del café

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



Ilustración 5. Subproducto (Propia)



Compostaje

El compostaje es un método biológico que descompone materiales orgánicos en un producto estabilizado, conocido como compost. Este proceso implica la colaboración de microorganismos, oxígeno y materiales ricos en carbono y nitrógeno. En el contexto de la cosecha cafetera, los residuos orgánicos incluyen pulpas de café, cascarillas y otros subproductos.

El compostaje, la pulverización y el mezclado de residuos orgánicos y subproductos de la cosecha cafetera constituyen un proceso fundamental para la gestión sostenible de los desechos agrícolas. Este documento explora en detalle cada fase de este proceso, destacando las prácticas eficientes y sostenibles que pueden aplicarse para maximizar los beneficios ambientales y agrícolas.



Ilustración 6. Pilas de compostaje (Propio)

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

En este proyecto se manejaron los siguientes tratamientos:

El abono orgánico contemplado en este proyecto corresponde a la fase final de compostaje generado a partir de subproductos de la actividad productiva del café, que consiste en tres mezclas con residuos orgánicos, denominados tratamientos:

Tratamiento 1: Pulpa y mucilago.

Tratamiento 2: Pulpa, mucilago y aserrín.

Tratamiento 3: Pulpa, mucilago, aserrín y gallinaza.



Ilustración 7. Pilas de compostaje de los diferentes tratamientos.

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



Entrada y salida

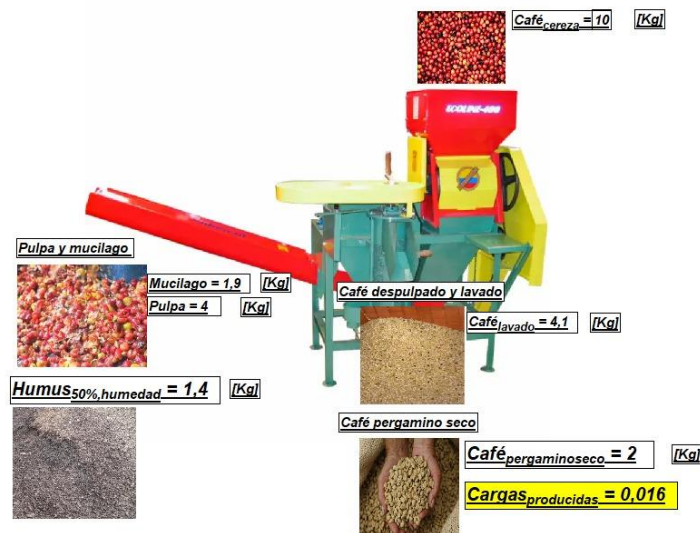




Ilustración 8. Desmucilaginizador de café – creado por el cafetero de la finca mata de guadua.

La tolva tiene como capacidad 10 Kg, por lo que para este proyecto cada corrida corresponde a dicha cantidad de café procesado.

Para comprender la entrada de materia prima y salida de producto, es necesario encontrar la relación en el flujo del proceso. Principalmente, la relación de los frutos de café con la proporción de mucilago y pulpa se encuentra entre 10 -18%, en el caso del proceso de la finca mata de guadua se realiza con una relación de 59% de la materia prima es convertida en pulpa (40%) y mucilago (19%) y es la proporción que se mantuvo en los diseños experimentales del proyecto.

El equipo se compone de dos máquinas: el alimentador mezclador y un molino de cuchilla, cuando se trabaja en húmedo se utiliza únicamente el alimentador mezclador, el cuál combina la pulpa y el mucilago más el aserrín con el fin de absorber humedad; y cuando está en seco se utilizan los dos equipos, el alimentador mezclador para hacer la mezcla de

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

la pulpa y gallinaza y otros residuos que se deseen adicionar y posteriormente pasan por el molino para realizar la reducción del tamaño de los terrones.



Con respecto al proceso de compostaje, se extenderá en el apartado que se encuentra a continuación y para las características de los insumos se encuentra el apartado de físico-químico.

Insumos con sus características



Ilustración 9. Toma de muestra (propio)

El compostaje Comprende un proceso biológico que comprende la conversión y valorización de los sustratos orgánicos (subproductos de biomasa o desechos orgánicos como biomasa residual), ocurre en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno, demasiada humedad puede generar malos olores y falta de oxígeno), transformando desechos en un abono orgánico rico en nutrientes asimilables y compuestos húmicos para las plantas. La suma de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa, como lo son los residuos de café que suelen ser mezclarlos con otros materiales, dado que, Los residuos de café son ricos en nitrógeno y el contenido de humedad debe mantenerse alrededor del 50-60% , ricos en carbono, como restos de hojas, paja o cartón, para lograr un equilibrio adecuado entre materiales ricos en nitrógeno y carbono (preferiblemente relaciones entre 1:30 - 1:15, respectivamente). Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Finalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, que es llamado compost. (Docampo, 2013). La caracterización físico-química del compost

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

obtenido permite determinar la cantidad y el rendimiento del producto, así mismo, es posible determinar la aplicación en actividades agrícolas.



El compostaje realizado de manera correcta, con una caracterización que sea evaluada por la normatividad vigente y permita determinar cantidades que suplan las necesidades de los cultivos a los cuales se va a aplicar, ejemplifica una tecnología para la gestión de residuos orgánicos, que en el caso de este proyecto comprende subproductos de la actividad productiva cafetera. (Vargas, Trujillo, & Torres, 2019)

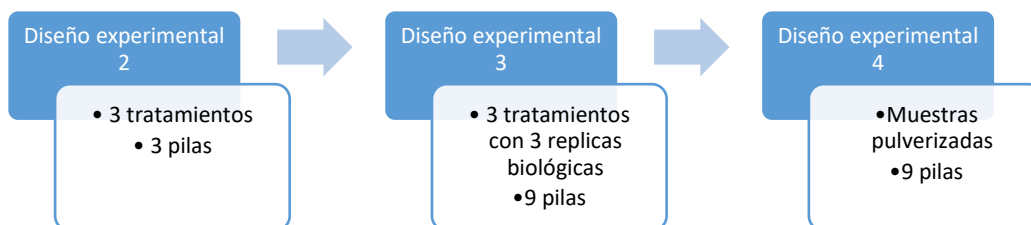
Metodología

Para el proyecto se manejaron varios diseños experimentales, dado que en el compostaje los resultados no son escalables. Se manejaron 3 tratamientos diferentes con la misma cantidad de niveles, es decir parámetros medidos para la caracterización y evaluación de las combinaciones.



Ilustración 10. Pilas de compostaje de los diferentes tratamientos.

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		



Cabe resaltar que el diseño experimental 1, comprende la evaluación del flujo de las características físico-químicas en un periodo desde 1 semana hasta 2 meses y los resultados se muestran en el apartado de físico-químicas.

Estandarización de medidas

La construcción de **pilas de compostaje** de menor tamaño frente a la planta de beneficio de café se llevará a cabo en la finca Mata de Guadua. Para ello se construirán 3 tratamientos con las siguientes dimensiones:

Ramada o techo que cubre las fosas:



Alto: 1,70 metros
Ancho: 6 metros
Largo: 2 metros

3 Fosas para pilas de compostaje:

Alto: 0,8 metros
Ancho: 2 metros
Largo: 1,3 metros

Para calcular el volumen de las pilas se empleó la siguiente ecuación:

$$Vm^3 = \frac{b \cdot a \cdot h}{3} \cdot 1000, \text{ donde,}$$

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

V_{m^3} , volumen total de la pila de compostaje en metros cúbicos (m^3)

b , base o largo de la pila (metros)

a , ancho de la pila (metros)

h , altura de la pila

$\cdot 1000$, Factor de conversión de m^3 a Kg

Entonces,

$$V_{m^3} = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 0,5}{3} \cdot 1000$$

$$V_{m^3} = 433 \text{ Kg}$$

El volumen total de cada pila será de: 433 Kg de materia orgánica para el proceso de compostaje.

Es importante resaltar aquí que por cada 1Kg de pulpa+Mucilago procesado, se emplean 3 bultos (75 Kg) de aserrín (cada bulto tiene 25 Kg). Así mismo, por cada 1 Kg de café cereza se obtiene un 40% pulpa y 19% mucílago.

La instalación que será utilizada para dicho proceso comprende una **marquesina** disponible en la finca Mata de Guadua. Para la adecuación se requiere malla polisombra como soporte del plástico resistente junto con plástico impermeable, un embudo y un valde para la recolección de los lixiviados. Para la división de cada uno de los tratamientos se puede emplear madera con un alto de 0,1 metros.

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER

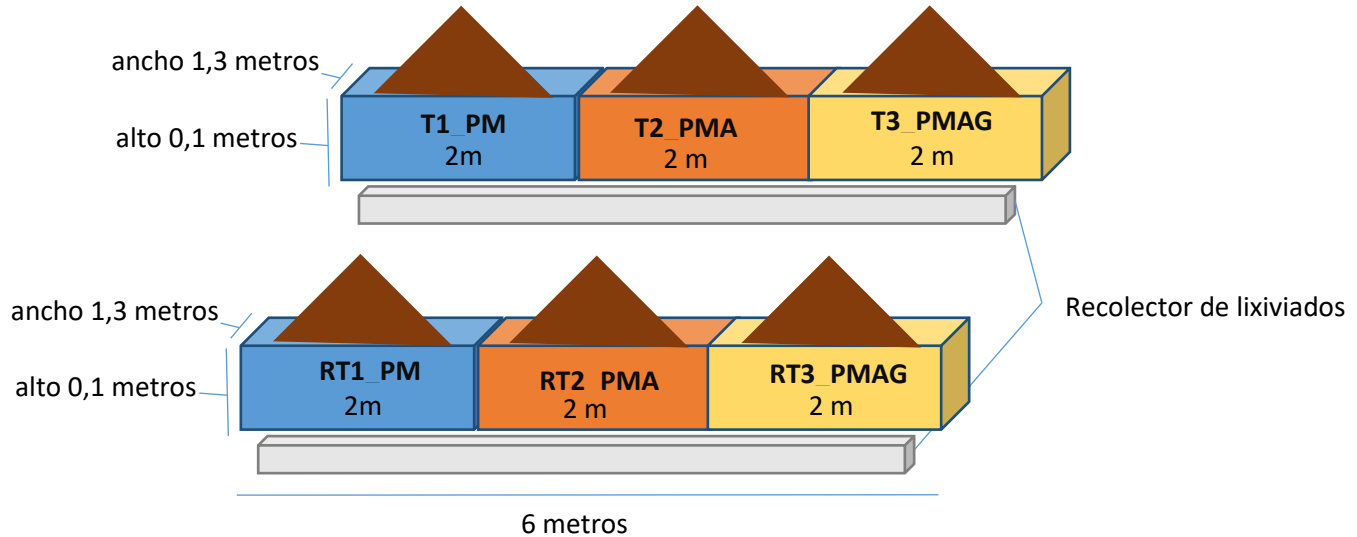


Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café



Con el fin de aprovechar los residuos propios del proceso con disponibilidad inmediata, se generan 9 pilas de compostaje y se denominarán de la siguiente manera:

CANTIDAD EN KG DE INSUMOS PARA LOS TTOS

TRATAMIENTO	pulpa	mucilago	aserrín	Gallinaza
P1	268		-	-
P2	248		20	-
P3	181		20	67
P4	268		-	-
P5	268		-	-
P6	181		20	67
P7	248		20	-
P8	181		20	67
P9	248		20	-

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



Fisicoquímicas

Para evaluar el progreso del proceso de compostaje, se monitoreo el tratamiento 2 durante 1 semana, 1 mes y 2 meses obteniendo los siguientes resultados:

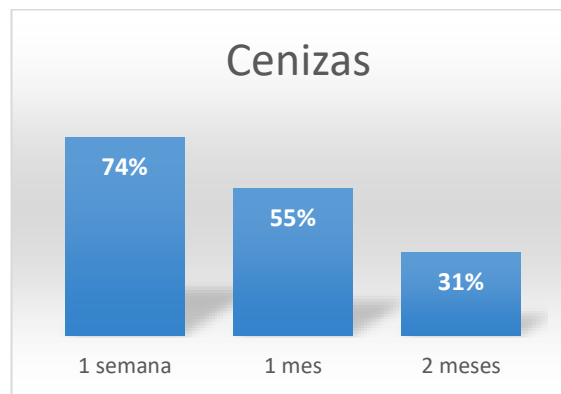


Gráfico 1. Cenizas del Diseño experimental 1

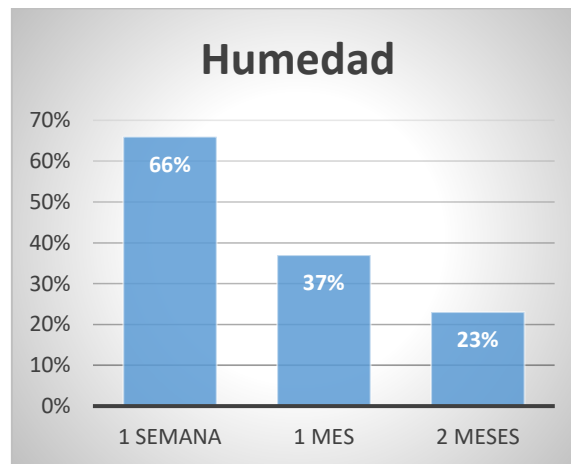


Gráfico 2. Humedad del Diseño experimental 1

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES

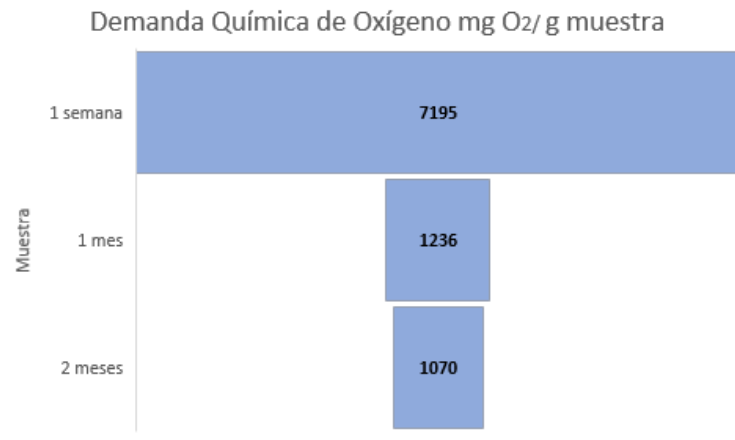


Gráfico 3. Demanda Química de Oxígeno del Diseño experimental 1

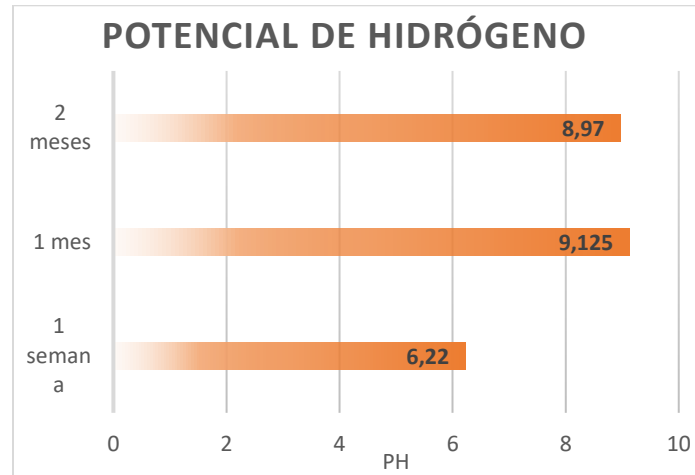




Gráfico 4. pH del Diseño experimental 1

El monitoreo durante un tiempo máximo de 2 meses, esclarece la fase inicial de proceso de compostaje en la que se degradan la mayor cantidad de nutrientes, es así como los resultados de: humedad, cenizas y DQO presentan una disminución bastante marcada que al pasar a las demás fases del compostaje (entendidas en el documento sobre compostaje), tendrán variaciones que serán analizadas en este documento. El potencial de hidrógeno presento un aumento, como se esperaba en la fase termófila, dado que en el periodo de tiempo evaluado se presentan características en la primera semana de la fase mesófila y

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

en la segunda y tercera muestra (1 mes y 2 meses), se presentan las características de la fase termófila. (Bohórquez, 2019) (FAO, 2013) (Castellanos, 2020)

Observaciones de opciones al proceso



Entre las tecnologías que pueden utilizar residuos de compostaje se encuentra el lombricompost que en este proyecto sería un proceso complementario al realizado hasta el momento. Es necesario realizar pruebas de monitoreo durante un tiempo mayor 6 meses, dado que aunque se manejaron replicas biológicas se encuentra variación entre cada pila de compostaje y esto genera cambios en el bioproceso que aunque comprende el mismo fundamento, no todas las pilas van a presentar las mismas características, dado que la fermentación requiere de la participación de consorcios microbianos que pueden variar sus relaciones entre las comunidades de microorganismos por la presencia o ausencia de un sustrato.

Se observo, que los lixiviados presentan componentes que permiten el crecimiento de diversos organismos y la comunidad, con capacitación que han recibido a lo largo del tiempo generó conocimiento sobre procesos que permiten el uso de estos lixiviados en vez de la disposición de los mismos a fuentes acuíferas, es acá donde se presenta la oportunidad de generar una alternativa que permita el uso de este subproducto.

Recomendaciones

A partir de este proyecto se recomienda monitorear las fases del compostaje para identificar en cual se encuentra cada pila de compostaje y su evolución.

La comunidad posee conocimiento que debe aplicarse de manera práctica y generar una preocupación por los subproductos que normalmente no son aprovechados. Aunque la finca mata de guadua es un ejemplo, también se debe demostrar desde otros caficultores que la economía circular en la caficultura es necesaria y se debe realizar.

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
	<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>	

Entregable2:



Descripción técnica de las pruebas realizadas, criterios de composición de las muestras y resultados obtenidos con su debida interpretación agronómica.

Descripción técnica de las pruebas realizadas

Métodos



Prueba	Método	Unidades
Humedad	NTC 5167	%
Cenizas	NTC517	%
Materia orgánica	NTC517	%
DQO	SM edición 23 (2017) método 5220 Chemical Oxygen Demand (COD), D. Closed Reflux, Colorimetric Method	mg O ₂ / g muestra
pH	SM edición 23 (2017) método 4500 pH, H, B. Electrometric Method	Unidades
Coliformes totales y fecales	TP0314 IDEAM	UFC / g muestra
<u>Salmonella spp</u>	NTC 4574.	

Tabla 1. Métodos para la medición de parámetros

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
	<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>	

Equipos

Equipo	Justificación	Identificación
Nevera	Conservar muestras	LG GC – 132Sserial: 2008TRZY0C005, LG GC-131S 003TRYD02010
Colorímetros	Medición de absorbancias	HACH DR 890 y 900 seriales: 120690C90242 y 171280001055
Termo reactor	Medición de DQO	HACH DRB serial: 11060C0139
Vortex	Homogenización de muestras	Velp científica F202A0173 serial: 205240
Muflas	Determinación de cenizas	E&O MD2.2 209 y PINZUAR PG191 serial : 144
Horno	Determinación de humedad	BINDER FD-S 115 serial: 20180000014595
Balanzas	Preparación de medios , medición muestras, determinación de humedad y cenizas	Precisa XB220A serial : 3105266 y OHAUS PIONNER 3200 serial: B612258646 OHAUS PIONNER3200 serial: B6122401108
Incubadoras	Incubación de las muestras para el cultivo microbiano	BINDER serial: 970506 , HAC BOD TRACK II , serial : 15040CD05408 y MERMMERT ALEMAN 160 single display D 516.0036 y BINDER WTB 960384
Autoclave	Esterilización del material sucio y limpio	CI DENTAL automat 15000 serial: 150-0018
Bomba de vacío	Determinación de coliformes	ROCKER serial: 16741-11-AIEA026 y Rocker 410 167410-11-AIEA029

CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER 	Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander	UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES 
	Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café	

Espectrofotómetro	Medición de absorbancias para DQO	PROVE 300 Merck serial: 1927314131
-------------------	-----------------------------------	------------------------------------

Tabla 2. Equipos en la medición de parámetros.

Criterios de composición de las muestras

Como se mencionó en el apartado de estandarización de medidas, se utilizaron tres (3) replicas biológicas de cada tratamiento por lo que para los análisis externos se presentaron muestras compuestas por cada tratamiento, es decir:

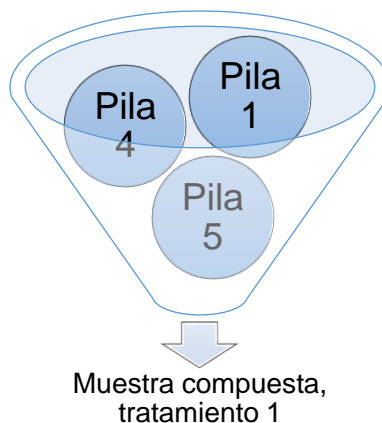


Ilustración 11. Generación de muestras compuestas

Los parámetros que se midieron son:

- Conductividad eléctrica
- Densidad
- Capacidad de retención de humedad
- Capacidad de intercambio catiónico
- Relación C/N
- Nitrógeno total
- Fosforo total
- Potasio total

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



- Calcio total
- Magnesio total
- Azufre
- Hierro
- Manganeso
- Cobre
- Zinc
- Boro
- Sodio
- Silicio total
- Fitopatógenos (hongos y bacterias)

Metales pesados

- Arsénico
- Cadmio
- Cromo
- Níquel
- Mercurio
- Plomo

Resultados obtenidos

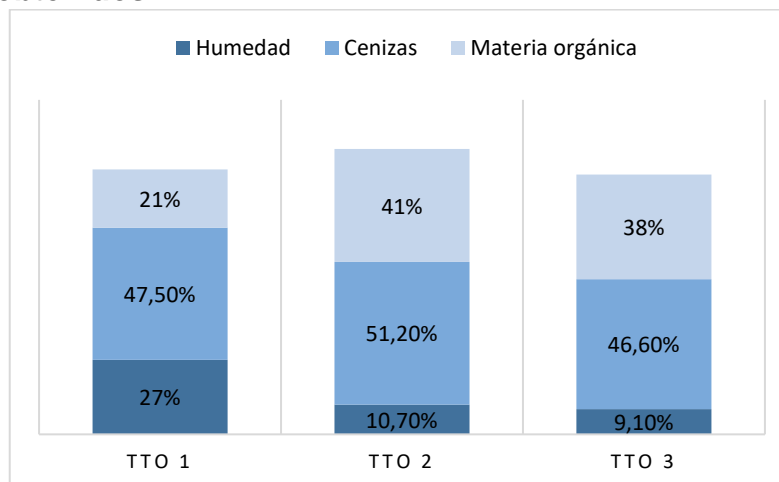




Gráfico 5. Materia presente en los diferentes tratamientos.

Se presenta la distribución de la materia orgánica en cada tratamiento y como el agregar compuestos diferentes dificulta la degradación de la misma y genera variaciones en el proceso de compostaje. La humedad disminuyó de manera considerable, representando que el compost se encuentra en la fase de enfriamiento y que requiere una fase de maduración.

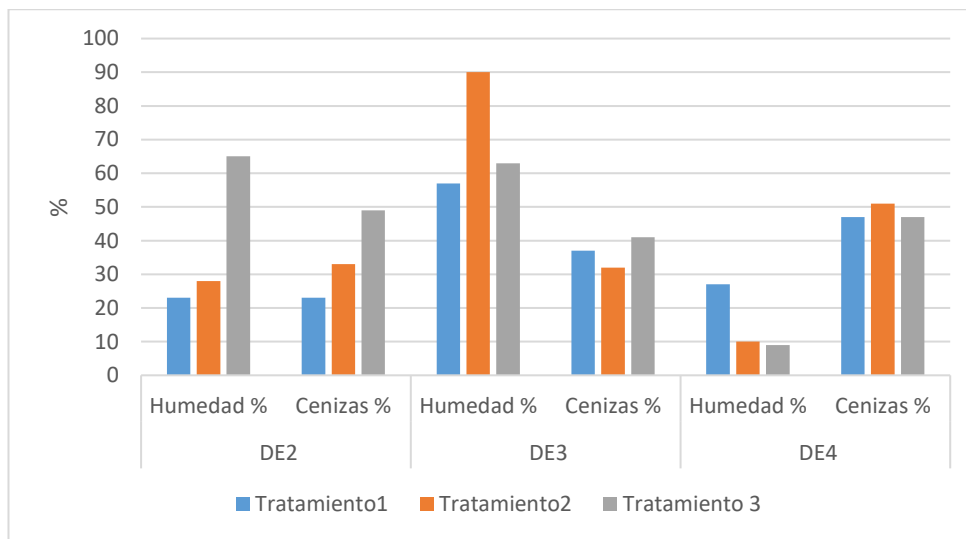


Gráfico 6. Humedad y cenizas de los diseños experimentales

A medida que van transcurriendo los diseños experimentales notamos que los tratamientos presentan un comportamiento similar al generar un aumento en la humedad seguido de una disminución de la misma en el último diseño experimental, esto es corroborado por las fases que comprenden el proceso de compostaje y representa la actividad contraria a la generación de cenizas (materia orgánica que se ha degradado después de los procesos de hidrólisis).



Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

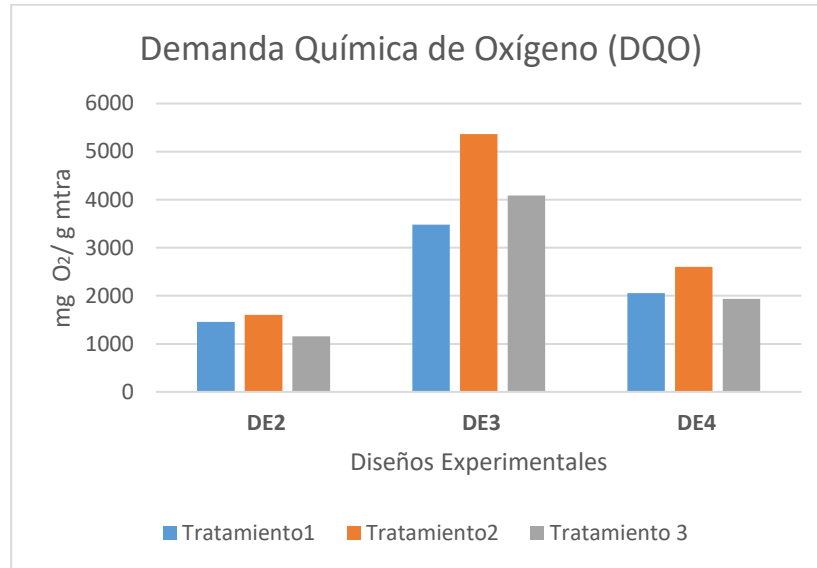


Gráfico 7.DQO de cada diseño experimental

La demanda química de oxígeno representa la materia orgánica que puede ser oxidable y representa las fases de degradación de la materia orgánica compleja y simple.

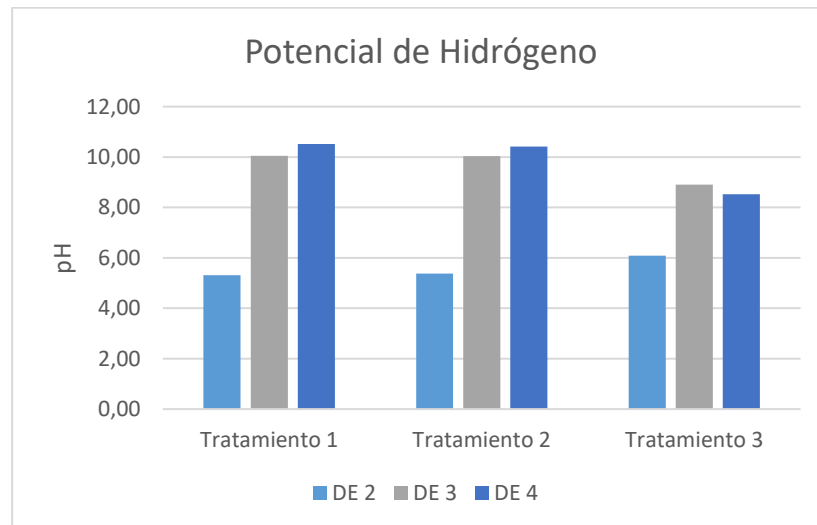


Gráfico 8.pH de los diseños experimentales

CORPORACIÓN
AUTÓNOMA DE
SANTANDER



Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander

Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café

UNIVERSIDAD
DE
SANTANDER -
UDES



El pH muestra un aumento después del diseño experimental 2, llegando a pH alcalino y requiere un mayor tiempo de maduración para nivelarse y encontrarse en los valores aceptables de la norma.

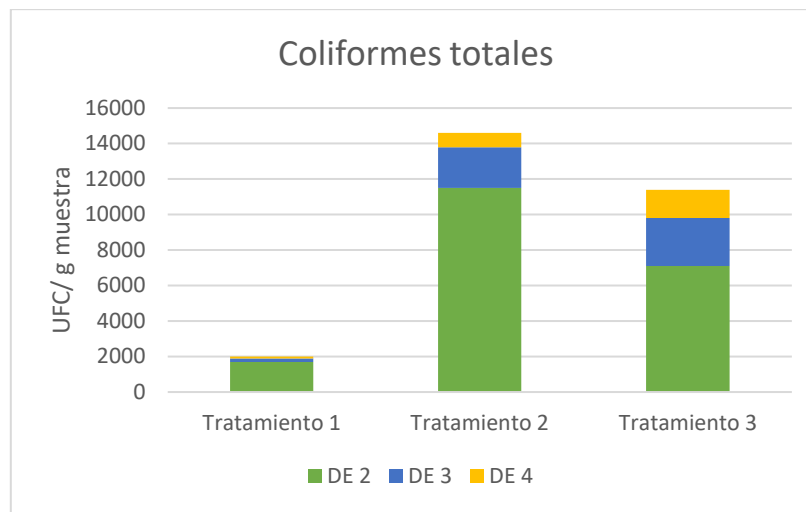


Gráfico 9. Coliformes totales en los diseños experimentales

Los resultados de coliformes totales demuestran el funcionamiento con respecto a la proliferación de microorganismos que colaboren en el proceso degradativo de la materia orgánica y la disminución de microorganismos patógenos que pueden llegar a estar presentes en el abono orgánico.

Estos resultados concuerdan con la literatura dado que al utilizar residuos provenientes de estiércol animal (en el tratamiento 3) la fase termófila debe mantenerse por más tiempo y alcanzar temperaturas altas que eliminen patógenos. Dado que, la fase de higienización requiere más tiempo a comparación de los otros compostajes que eran con material vegetal, indica que el compost del tratamiento 3 requiere un tiempo mayor a los otros dos tratamientos para alcanzar una fase de maduración (Bohórquez, 2019).

Interpretación agronómica

RESULTADOS FÍSICOS QUÍMICOS





TRATAMIENTO	Unidad	1 (P1, P4, P5)	2 (P2, P7, P9)	3 (P3, P6, P8)
Humedad	%	21,9	16,3	13,5
Capacidad de intercambio catiónico	mg/100g	71,1	66,7	68,2
Densidad	g/cm ³	0,48	0,51	0,51
Cenizas	%	13,5	24,0	30,5
pH		10,0	9,2	8,78
Carbono orgánico oxidable total	%	27,4	23,7	23,2
Relación Carbono / Nitrógeno		9,3	11,0	12,0
Nitrógeno	%	2,94	2,22	1,93
Fósforo	%	0,76	1,62	1,59
Potasio	%	6,31	4,32	3,41
Calcio	%	1,50	6,67	8,95
Magnesio	%	0,31	0,50	0,46
Azufre	%	0,35	0,74	0,90
Hierro	%	0,11	0,44	0,62
Manganeso	mg/kg	56	153	156
Cobre	mg/kg	35,1	46,4	51,2
Zinc	mg/kg	32	257	361
Boro	mg/kg	98	86	108
Sodio	%	0,02	0,13	0,15
Silicio	%	1,15	5,93	8,80

Tabla 3. Variables de interés de la caracterización físico química de los tratamientos empleados

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de laboratorio

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

T1 presenta la mejor humedad al final del ensayo, la cual permite que los microorganismos presentes en el abono perduren por más tiempo y puedan hacer una mejor eficiencia biológica en el suelo debido a su posible mayor población; explicándose esta mayor humedad del T1 por la menor proporción de material higroscópico. Sin embargo, la

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p> <hr/> <p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
--	---	--

humedad se encuentra en los tres tratamientos por debajo del tope máximo de la exigencia de la NTC 5167, la cual indica que debe ser el 35%.

La Capacidad de Intercambio Catiónico CIC, es similar en los tres tratamientos, situándose por encima del requerimiento mínimo (30%) de la NTC 5167.

La densidad es similar para los tres tratamientos, situándose en valores cercanos a la de la mayoría de abonos orgánicos con niveles de humedad entre el 15 al 20%. Por otra parte, cumplen los abonos resultantes de los tres tratamientos la exigencia de la NTC 5167, que indica que la densidad debe ser inferior a 0,6 g/cm³.



El contenido de cenizas, aunque muestra diferencias, cumplen la exigencia de la NTC 5167, que indica que los abonos orgánicos deben poseer un valor inferior al 30%.

El pH presenta 1,2 unidades de diferencia entre los valores extremos, entre 8,8 y 10,0, encontrándose para los tres tratamientos muy cercanos o por encima del tope máximo de la NTC 5167 que expresa que los valores óptimos deben estar entre 4,0 y 9,0; sin embargo, para los suelos ácidos de la cordillera oriental, que son la mayor proporción, esta condición es favorable para ayudar a reducir la acidez natural de dichos suelos.

La cantidad de carbono orgánico oxidante total se encuentra en valores similares en los abonos obtenidos en los tres tratamientos (23 al 27%) y favorablemente muy por encima del valor mínimo (15%) de la NTC 5167. La relación C/N presentan diferencias menores entre tratamientos (9,3 a 12,0, siendo más favorable T1), lo cual indica que los materiales se encuentran completamente compostados, al tener valores cercanos a 10, en cuyo caso se considera que el abono ha alcanzado un estado de humificación avanzado, que al ser adicionado al suelo va a favorecer el desarrollo de microorganismos, en especial de los encargados de mineralizar la fase orgánica del suelo.

En cuanto a elementos mayores, se observa un mayor contenido de nitrógeno y potasio, en las muestras de T1; con respecto a fósforo, se encontraron contenidos similares en T2 y T3, pero superiores a T1.

Los elementos menores presentaron un contenido muy alto para calcio en T2 y T3 y bajo para T1; un contenido similar de magnesio en los tres tratamientos, reportándose valores



<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

ligeramente mayores en T2 y T3; para azufre se presentan valores superiores en T3 y T2, con contenidos que duplican a T1.

En cuanto a elementos menores, T1 presenta los menores contenidos en todos los elementos, T3 presenta los mayores contenidos de hierro, boro, zinc y silicio y T2 y T3 contenidos similares, pero mayores a T1 de manganeso, cobre y sodio.

CONCLUSIONES

- La adición a la pulpa de café de aserrín o gallinaza, mejora las propiedades físicas y el pH del abono obtenido.
- La mejor humificación se obtiene con el compostaje de pulpa con mucilago, frente a la adición de aserrín o gallinaza.
- Los contenidos mineralógicos de los abonos obtenidos varían de acuerdo a la proporción de las materias primas empleadas, presentándose algunos tratamientos con mejor contenido de nutrientes que otros, pero no sin descartarse alguno de ellos sobre los demás.
- El compost resultante de este proceso puede utilizarse como una enmienda orgánica valiosa en la agricultura y en otros cultivos. Proporciona nutrientes esenciales para las plantas, mejora la estructura y la retención de agua del suelo, y fomenta la actividad microbiana beneficiosa.
- Se evidencia que el abono orgánico es una alternativa viable para ayudar a mitigar los impactos medioambientales de la práctica agropecuaria.
- Los abonos orgánicos con los residuos del café, que, además, en los diversos estudios muestran sus beneficios y ventajas con respecto a otros productos de origen químico, convirtiendo estos productos (particularmente la pulpa) como un recurso a tener en cuenta en la agricultura local para lograr una práctica agrícola más sostenible y estable.

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

- Estos procesos permiten explorar nuevos usos y aplicaciones para darle un uso sostenible a los subproductos del café, aprovechando así sus propiedades nutricionales y funcionales en diferentes ámbitos. Se pueden emplear como fertilizante natural y en el proceso de compostaje, lo que contribuiría a mejorar la salud del suelo y a disminuir la dependencia de fertilizantes químicos a largo plazo.

Análisis costo-beneficio que permita identificar la rentabilidad para una finca cafetera tipo de la zona caficultora de Páramo, de implementar el sistema de producción de abonos

El análisis costo- beneficio es una herramienta que permite tomar decisiones que sirve para realizar acciones que indiquen un avance. Ofrece una perspectiva cuantitativa del problema planteado y basa las decisiones en evidencia tangible, al agregarle valores monetarios a las actividades y beneficios que la tecnología plantea y es conveniente usarlo en:

- Desarrollo de una estrategia de negocios.
- Asignación de recursos.
- Avance de un proyecto.
- Oportunidades de inversión.
- Medir el impacto o potencial de nuevas políticas.
- Evaluar cambios en los procesos.



(Caeleigh, 2024)

Descripción actual de la tecnología

Rendimiento actual

Oportunidades

El desempeño futuro

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

Riesgos

Formula de análisis de costos-beneficio

- **Valor Actual de ingresos totales Netos (VAN)**

Teniendo como ingresos totales:

- ✓ Beneficios del producto nuevo
- ✓ Valor agregado al café
- ✓ Disminución en el impacto ambiental
- ✓ Recirculación de nutrientes
- ✓ Recuperación de suelos en un menor tiempo
- ✓ Ahorro en abonos químicos



- **Valor actual de costos de inversión totales (VAC)**

Los costos son derivados de:

- La inversión inicial, infraestructura y materia prima.
- Gastos de producción, costo con respecto al tiempo para obtener el producto.
- Gastos de mantenimiento, costo de mano de obra.

Beneficio / Costo = VAN / VAC

- Valores de B/C mayor a 1, indica que los ingresos son superiores a los costos por lo que el proyecto es rentable.
- Valores de B/C igual a 1, significa que ni las ganancias ni las pérdidas son mayores por lo que equivalen a lo mismo y el proyecto no es viable.



<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

- Valores de B/C menor a 1, los costos sobrepasan los beneficios por lo que el proyecto no es rentable.

Recomendaciones

Referencias

- Álvarez, G. (1991). Despulpado de café sin agua. *Avances técnicos Cenicafé*. Cenicafé.
- Bohórquez, W. S. (2019). *El proceso de compostaje*. Bogota: Universidad de la Salle.
- Castellanos, P. D. (2020). *Estrategias y tendencias del aprovechamiento de la pulpa y mucilago del cafe en Colombia*. Huila: UNAD.
- Docampo, R. (2013). Compostaje y compost. *Revista INIA*.
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Obtenido de Experiencias en america latina: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>

<p>CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE SANTANDER</p> 	<p>Aprovechamiento de residuos de la actividad productiva cafetera, a partir de la transformación de los mismos en abonos orgánicos, como estrategia para mitigar el impacto generado por contaminación ambiental sobre los ecosistemas, en el municipio de paramo departamento de Santander</p>	<p>UNIVERSIDAD DE SANTANDER - UDES</p> 
<p>Objetivo específico 3 : Documentar y dar a conocer síntesis del modelo de economía circular de reutilización de subproductos de café</p>		

Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + limpia*, 15(1), 93-110.

hsmMadrid. (26 de Agosto de 2020). *Revista HSM*. Obtenido de <https://revistahsm.com/el-fascinante-proceso-de-la-recoleccion-del-cafe/>

Sanz-Uribe, J., Oliveros-Tascón, C., Ramírez, C., Peñuela-Martínez, A., & Ramos-Giraldo, P. (2013). *Proceso de beneficio*. (Vol. 3). (Cenicafé, Ed.) Colombia, Colombia: Cenicafé.

Vargas, O. P., Trujillo, J. M., & Torres, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *ORINOQUIA*, Vol. 23 DOI <https://doi.org/10.22579/20112629.575> .