

Capítulo 3

El compostaje en procesos de restauración de frailejones de los géneros: *espeletia lopezzi*, *espeletia ocetana*, *espeletia pycnophylla* en la cuenca alta del Río Gameza

Fanny Hernández¹

Edilberto Hernández²

Oscar Javier Monroy Quesada³

Fabio Norberto Pérez⁴

Stella Del Pilar Vargas Clavijo⁵

<https://doi.org/10.61728/AE20252113>



¹ Lic. En Química y Biología. Esp. En planeación EA. Magister en ciencias ambientales. E-mail: fhermanrodez@gmail.com, fhernandezq@educacionbogota.edu.co

² Lic. En Informática. E-mail: ehernandezh@educacionbogota.edu.co

³ Ing. Químico. E-mail: oscar.monroy2001@gmail.com

⁴ Administrador de empresas- Esp. En Finanzas, Magister en Desarrollo y Codesarrollo local sostenible. E-mail: fnperez2@gmail.com

⁵ Ing. de Alimentos Esp. En Control de Calidad, Magister en Educación. E-mail: sdpvargas@educacionbogota.edu.co

1. Introducción

En la actualidad, el creciente aumento de la temperatura ha determinado cambios en los patrones de comportamiento de los patrones climatológicos, manifestos en dos fenómenos: la variabilidad climática interanual ha venido ocasionando aumentos en la temperatura de hasta 0.5 °C y disminuciones en la precipitación de hasta 60 % durante El Niño y disminuciones en la temperatura de hasta 0.5 °C y aumentos en la precipitación de hasta 60 % durante La Niña (Arteaga, 2018). Y el fenómeno isla de calor asociado a cambios de temperatura más altos en zonas urbanas, relacionados con el aumento del urbanismo y procesos de contaminación asociados a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) ocasionados por el manejo inadecuado de los residuos orgánicos desde la fuente (Huanchi, 2023).

La ciudad de Bogotá y sus localidades no han sido ajenas a los cambios del clima asociados al constante cambio en los procesos de ordenamiento territorial que, de una u otra manera, han cambiado la composición del territorio y han venido generando una transformación en la composición y función del paisaje y su función de los ecosistemas estratégicos, el cambio del uso del suelo, distinguiéndose zonas urbanas, periurbanas y la reducción de las zonas rurales. Lo cual trae como consecuencia el creciente aumento de problemáticas ambientales de contaminación e impacto ambiental y el aumento de la huella de carbono y la huella hídrica que se revierte en la transformación del territorio y los servicios ambientales que décadas anteriores prestarían y en la función ambiental de regulación climática (Arroyo Narváez, 2017).

La fragmentación de los ecosistemas en la localidad de Suba, tales como los humedales, el cerro de La Conejera y el sector norte del río Bogotá, experimenta hoy una alteración en su ecosistema, algo que afecta también a las diferentes especies o poblaciones que habitan en estos sectores. En estudios realizados recientemente, se ha evidenciado a partir de

los registros de temperatura en la base de datos Landsat un incremento en la temperatura del suelo en la ciudad de Bogotá, en las zonas con mayor densidad poblacional. A partir de este hallazgo, se realizó un análisis exploratorio donde se demostró que el incremento de temperatura tiene una relación con la densidad poblacional de la zona en cuestión, que son denominadas como islas de calor (Salas Pérez, 2019).

Por otro lado, también estadísticamente, mediante el índice de Moran bivariado local, se logra corroborar que el suelo urbano incide en el aumento de la temperatura de superficie, mientras que las zonas verdes pueden actuar como factor mitigador. Adicional a esto, la localidad 11 está inmersa en la no valoración y disposición adecuada de los residuos orgánicos que trae como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y dióxido de carbono (CO_2), producidos por la actividad microbiológica del proceso de descomposición.

De acuerdo con lo estipulado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), es de suma importancia hacer el cálculo de la huella de carbono y del factor de emisiones como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de ese contaminante (Nordahl, 2023) (Méndez y Castañeda, 2016), especialmente cuando en las comunidades se opta por adoptar procesos de compostaje aerobio como tecnología limpia para la reducción de GEI en el manejo de los residuos orgánicos (Arguedas, 2020). Atendiendo al planteamiento anterior, cabe rescatar las orientaciones de política del plan para la gestión del riesgo ante el cambio climático (PGRCC) y lo estipulado en el plan de desarrollo distrital Bogotá camina segura 2024-2027. En su objetivo 4, Bogotá ordena su territorio y avanza en su acción climática, justicia ambiental e integración regional para el desarrollo de territorios equilibrados con criterios de sustentabilidad para contar con sistemas de bosques y páramos.

Le ha permitido al Colegio Gerardo Molina Ramírez plantear el desarrollo de una propuesta transversal para abordar procesos de educación transversal para el cambio climático desde la propuesta “Páramo Aula Viva” (Hernandez, 2010), asumiendo los lineamientos establecidos por

la IPCC, las Estrategias Distritales (PDGRDCC) y E2050 (de Colombia, 2021), contrato interadministrativo No. 843 de 2022, UAESP y Aguas de Bogotá S. A. STEAM+ H (Estrochio, 2022). La metodología está orientada a generar procesos de compostaje que permiten orientar procesos de sustentabilidad en una región del páramo de la cuenca alta del río Gameza (Medina Moreno, 2017). Para lo cual la institución educativa distrital plantea vincular los procesos de avance en educación ambiental para la conservación de páramos y los procesos de investigación para ajustar sustrato a partir de compostaje destinado para germinación y siembra de frailejones, al igual que el planteamiento de un factor de emisión al proceso de restauración de la Fundación Adopta un Frailejón. Busca unir a las personas que viven en zonas de páramos con las personas u organizaciones que hacen uso y aprovechamiento del agua para en conjunto preservar áreas de ecosistema de páramo, ubicando como zona de conservación el nacimiento del río Gameza, área de aproximadamente 1000 hectáreas de páramo, donde se capta el agua para 9 acueductos veredales y 3 acueductos municipales y dos distritos de riego, proveyendo de agua a cerca de 30 000 personas.

La fundación, en el desarrollo de su proceso de sustentabilidad, desarrolla dos propuestas:

- a) La primera es la de evitar la ampliación de la frontera agrícola, perder cada frailejón y cada metro de ecosistema de paramo, es muy difícil recuperarlo, por lo cual se trabaja con las familias dueñas de predios, haciendo pedagogía y conciencia de la protección, a la vez creando nuevas alternativas para la reconversión a actividades económicas sostenibles.
- b) La segunda es restaurar predios donde ya ha habido afectaciones por tala o quema de frailejones, para esto En el año 2022 se creó el vivero de germinación Frailejón donde se están germinando tres especies de Frailejones, propias de la zona como la *Espeletia lopezii*; *Espeletia Ocetana* y *Espeletia Murilloi*. Actualmente se adelanta acciones de restauración en predio del municipio de Gameza, ubicado en las siguientes coordenadas 5°46'18.2"N 72°42'26.3"W.

Los propósitos de vinculación de una entidad territorial educativa distrital a los propósitos de una fundación regional permiten concretar en una propuesta de doble vía que orienta procesos de restauración, ya que permite orientar nuevos modelos en gestión de residuos sólidos a un modelo de economía circular en el marco de restauración de ambientes naturales, ya que un sistema económico que se basa en modelos de negocio que sustituyen el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en procesos de producción de compost/distribución y consumo, operando a nivel macro (ciudad, región) (Seguí, 2018).

De igual forma, cobra relevancia en el panorama actual de cambio climático el ejercicio de una ecocidadanía y el tratamiento curricular de tener una mirada crítica transversal hacia realidades socioecológicas en procesos de restauración, a redefinir la economía y a desarrollar un poder-hacer para reconstruir los lazos entre sociedad y naturaleza, y que además incluya la justicia social (Rodrigo-Cano, 2019). Y los objetivos de desarrollo sostenible: 4 educación de calidad, 11 ciudades y comunidades sostenibles, 13 acción por el clima, 17 alianzas para lograr objetivos, acción por el clima, 17 alianzas para lograr objetivos.

2. Materiales y métodos

El estudio se aborda desde la investigación-acción-participación, enfoque que se basa en la cuantificación de la información. El tipo de investigación empleado es básica exploratoria, aquel que se aproxima a un tema poco estudiado e identifica componentes del comportamiento de la muestra en estudio (Hernández-Sampieri et al., 2014). El diseño fue el experimental transversal, el cual se desarrolló en el laboratorio Compostera del colegio Gerardo Molina y en el vivero de la fundación Adopta un Frailejón, al igual que en la zona de siembra cuenca alta del río Gameza. A nivel pedagógico se asumen los principios de la pedagogía dialogante.

La interestructuración, la escuela debe trabajar la Zona de Desarrollo Próximo porque permite abordar las acciones educativas que el individuo solo puede realizar inicialmente con la colaboración de otras personas. El desarrollo de la presente investigación se realizó en tres fases:

Fase 1. Transversalización de la propuesta de educación para el cambio climático en el marco STEAM+ H y desarrollo sostenible

En esta fase, en la primera parte, se realiza una apropiación del territorio a través de salidas a los páramos de Chingaza, Guacheque y Sumapaz con la finalidad de contextualizar las problemáticas asociadas al cambio climático. A través de las técnicas de encuestas y manejo de dos matrices para la obtención de datos sobre las competencias ambientales y el cambio climático, siguiendo los lineamientos de ALEC y los principios rectores de la educación (Camacho-Tamayo, 2024) y los principios de integridad ecológica en páramos (Garzón Suárez, 2018). Generar una propuesta curricular transversal de educación ambiental encaminada a la adaptación ante el efecto del cambio climático, que articule el manejo integral de residuos sólidos, recuperación de espacios para la productividad ambiental y conectividad e integridad ecológica en procesos de restauración orientados por la fundación Adopta un frailejón.

Desde la restauración se apunta a generar herramienta educativa desde e-book que integre desarrollo de actividades de matemáticas, ciencias ambientales, química, física, ingeniería y tecnología, informática, artes y humanidades. Empleando como principio básico realizar procesos de educación ambiental transversal orientada a ilustrar la relación compositiva del frailejón en el marco de la restauración de páramo.

Fase 2. Estandarización de las condiciones de manejo de residuos orgánicos destinados para composta a través de la técnica SAC-4500

El método empleado corresponde al uso de la técnica SAC-4500 con una capacidad de 4000 litros y una capacidad de carga diaria de 72 kg/día. Se considera que el material de mezcla es indispensable en el proceso, ya que lo que hace es reducir la humedad del residuo orgánico. Hay que tener en cuenta que la proporción es 3 en 1, es decir, 3 porciones de residuos por 1 porción de material de mezcla (aserrín, viruta, hojarasca seca, entre otros), con un tiempo estimado de 35 días en descomposición aerobia y 15 días de maduración. Importante considerar lograr temperaturas mayores o iguales a 55 °C; el tipo de mezcla estructurante

que para el presente caso se trabaja es aserrín y hojarasca. Se integra la recolección de residuos orgánicos desde la fuente de los integrantes de grado cuarto, quinto y séptimo del Colegio Gerardo Molina Ramírez bajo el lema “De basura cero a cero emisiones”. Se realizan cargas diarias en tres periodos: diciembre 2023 a febrero 2024; marzo a mayo 2024; julio a septiembre 2024. Se realiza seguimiento de temperatura, PH y peso de carga empleando registro en formato 1.

Una vez termina el proceso de maduración, se realizan pruebas fisicoquímicas y análisis microbiológicos como herramienta de control; este ente toma como referencia la Norma Técnica colombiana 5167, NTC 5167. Para este caso y con el fin de apoyar el programa, compoterías in situ, se analizarán los resultados de laboratorio a la luz de la NTC 5167-2011 y la NTC 5167-2022. Para este caso y con el fin de apoyar el programa, compoterías in situ, se analizarán los resultados de laboratorio a la luz de la NTC 5167-2011 y la NTC 5167-2022. Como elementos de análisis de las pruebas para determinar estabilidad se consideran las siguientes variables de estabilidad: La concentración de amonio y relación amonio/nitratos, a relación C/N (como C y N orgánico total), recomendándose valores menores a 20-25 para evitar inmovilización de N del suelo; los indicadores de madurez se basan en estudios de fitotoxicidad (Mazzarino, 2012).

Apoyados en los resultados de pruebas fisicoquímicas, se plantea un factor de emisión (fe). Para la estimación de las emisiones de la composta, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de identificar las metodologías utilizadas para la estimación de las emisiones. En el trabajo de Nordahl et al. 2023, se realizó una revisión de diferentes trabajos donde se calculan las emisiones de compostaje de diferentes fuentes. Allí, se identificó que la principal metodología utilizada para el cálculo de las emisiones es la medición directa de los gases emitidos por la compostera directamente. Por otra parte, en el trabajo de Hernández-Gerónimo et al. 2022, se realizó la estimación de las emisiones mediante la composición elemental de la composta, usando el contenido de C, H, N, O y S y las siguientes ecuaciones 1 y 2 (Hernández-Gerónimo, 2022).

(1)

$$C_a H_b O_c N_d + \left(\frac{4a + b - 2c - 3d}{4} \right) O_2 \rightarrow aCO_2 + \left(\frac{b - 3d}{2} \right) H_2O + dNH_3$$

(2)

$$C_a H_b O_c N_d S_e + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3d}{4} + \frac{e}{2} \right) H_2O \rightarrow \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4} \right) CH_4 + \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4} \right) CO_2 + dNH_3 + eH_2S$$

Tomado de Hernández-Gerónimo et al. (2022), la ecuación 1 corresponde a la descomposición aerobia de los desechos, mientras que la ecuación 2 muestra la descomposición anaerobia de los desechos sólidos, en donde se incluye, además del CO_2 , la descomposición del metano (Nordahl, 2023). Estas metodologías mencionadas anteriormente pueden ser difíciles de aplicar en un contexto donde no se cuentan con los recursos suficientes para realizar las mediciones de gases o realizar los análisis necesarios para determinar la composición elemental de la composta. Por esta razón, se encontró el método de cálculo de las emisiones propuesto por el RTI, en donde se utiliza una metodología para el cálculo de emisiones a partir de la composición de los residuos sólidos, usando las ecuaciones 3, 4, 5:

(3)

$$E_{CO_2} = FE_{composta, CO_2} * \sum_{n=1}^N (M_{composta, n} * \%S_n)$$

(4)

$$E_{CH_4} = FE_{composta, CH_4} * M_{composta}$$

(5)

$$E_{N_2O} = FE_{composta, N_2O} * M_{composta}$$

Tomado de: (RTI, 2010). Donde E son CO_2 , CH_4 o N_2O , según corresponda; las emisiones de FE son el factor de emisión de la composta dado por el Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC), para el CO_2 , CH_4 o N_2O , según corresponda; N es el número total de fuentes

distintas añadidas a la composta; n es el índice de material de desperdicio añadido a la composta y $\%Sn$ es el porcentaje de sólidos del material n (CAEM, 2015). Aplicando las ecuaciones 3, 4 y 5, se encuentran las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O , y para estandarizar estas emisiones en las mismas unidades, se utiliza la siguiente ecuación 6.

(6)

$$Emisiones\ totales = E_{CO_2} * 1 + E_{CH_4} * 21 + E_{N_2O} * 310$$

Donde 1, 21 y 310 corresponden a los valores de potencial de calentamiento global para el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso, respectivamente. Para aplicar las ecuaciones mostradas anteriormente, se organizó la información disponible para tener la cantidad de material añadido a la composta según el tipo de material, y con ello se realizó la búsqueda del contenido de sólidos totales del material en sí. (Tabla 1).

Tabla 1

Carga por tipo de residuo sólido orgánico y su % de sólidos

Material RSO	Humedad (%)	Sólidos (%)	Carga (kg)	Fuente
Cascara de banano	11,91	88,09	486,60	(López et al. 2014)
Cascara de papa	85,10	14,90	62,50	(Javed et al. 2019)
Residuos de jardín (Pasto)	90,00	10,00	550,00	(Bohl et al. 2009)
Manzana	85,60	14,40	102,50	(USDA, s. f.)
ranadilla	86,40	13,60	20,00	(Sittipa et al. 2020)
Café	2,00	98,00	12,50	-
Cascaras de huevo	0,95	99,05	32,50	(Rosnah et al. 2021)

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Fase 3. Prueba de germinación de semillas y plantulación de frailejones para determinar la madurez del compost

La prueba utilizada para comprobar la madurez del compost se conoce como el test de fitotoxicidad o prueba de germinación de Zucconi. El objetivo es determinar si la estabilidad está relacionada con la disminución de carbono degradable y actividad microbiana y la madurez se refiere a la finalización efectiva del proceso de compostaje en un producto sin sustancias fitotóxicas que puedan afectar el crecimiento vegetal (Mazzarino, 2012). En esta etapa se hacen dos consideraciones: preparación del sustrato y el trasplante de las plántulas del germinador proveniente de rosetas de *Espeletia lopezzi* y *Espeletia oetana* que inicialmente se realizó en camas de algodón o en camas de compost, compost + fibra de coco y compost + tierra de jardín. Para ello, inicialmente se hace siembra de apio en la muestra de carga 1 y carga 2; se realizaron germinadores de semillas de frailejón *lopezzi* y *oetana* y la replantación de 120 plántulas de frailejón *Espeletia lopezzi* donadas por la fundación Adopta un frailejón. Como indicadores se consideran el índice de germinación >80 % (CCQ 2010) y el índice de crecimiento >90 % (norma alemana) (Mazzarino, 2012).

Fase 4. Eficiencia del compost a través de los cálculos de rendimiento

El cálculo de rendimiento para el presente caso corresponde a la relación de planteada en la ecuación 7 (Martínez, 2013):

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{kg de compost}}{\text{kg de residuos}} \times 100 \% \quad (7)$$

El enfoque del modelo de economía circular es implementado por el colegio Gerardo Molina Ramírez y la fundación adopta un frailejón que corresponde a transformar en acciones los postulados del sistema y alcanzar eficiencia en el reciclaje, la reutilización y la valoración de los residuos (Romero-Sáez, 2022). La producción de compostaje es viable

para proponer sustrato adecuado para realizar procesos de germinación y plantulación y disminuir los costos, ya que en la actualidad la fundación para realizar procesos de plantulación emplea Klasmann TS 1-876, cuyo valor corresponde a \$800.00 por bulto de 30 kilos. Klasmann TS 1-876 corresponde a una turba rubia fertilizada, moderadamente descompuesta, con adición de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, trazas de microelementos y agente humectante Hydro-S Estructura fina de 0-5 mm, pH 6.

3. Resultados y discusión

Transversalización de la propuesta de educación para el cambio climático en el marco STEAM+H y desarrollo sostenible. Los resultados obtenidos están relacionados con procesos de educación sostenible en el marco de transversalidad de la formulación de cartilla para abordar componentes ambientales del páramo. Se formula un e-book con los siguientes componentes relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2

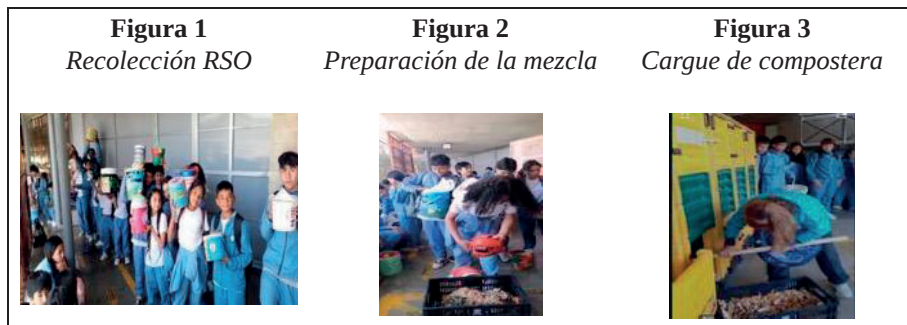
Estrategia STEAM +H e-book para el abordaje composave of frailejón

Enfoque	Área	Eje transversal
S	Ciencias ambientales	Bioma páramo- frailejoón
	Química	Análisis de condiciones fisicoquímicas del compost- sustrato
	Física	Aplicación de los principios de la termodinámica
T	Tecnología	Elaboración estructuras para germinadores plantuladores
	Informática	Procesamientos de datos proceso de compostaje y Crecimiento de frailejones
E	Ingeniería	Construcción sensor de CO ₂
A	Artes	Diseño de comic - compost - arte expresión frailejón
M	Matemáticas	Tratamientos estadístico de datos de compostera - germinadores y plantuladores, haciendo uso de las medidas de tendencia central
H	Humanidades	Cambio climático en América Latina - Abordaje política E 2050 .Uso de segunda lengua

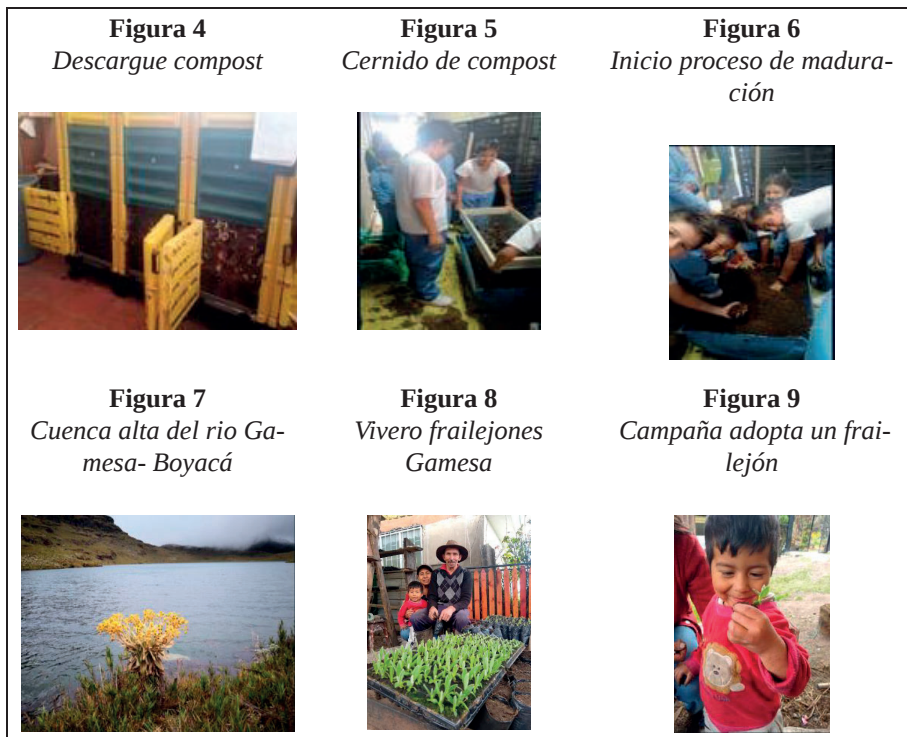
Fuente: Fanny Hernández Quintero, 2024.

De igual forma, se propicia un ambiente de aprendizaje contextualizado y aterrizado a una necesidad de abordar una problemática local: el manejo de residuos orgánicos (Figuras 1-6) con su correspondiente relación a

nivel regional, como es proteger y salvaguardar un bioma tan importante como es el páramo (Figuras 7-9).



Fuente: Fanny Hernández Quintero, 2024.



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

3.1. Análisis de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas

En cuanto a los seguimientos de temperatura registrados en la Tabla 3 y Figura 10, en la que se analiza que entre los días 1 al 15, correspondiente a la fase mesófila, varían en un intervalo de 17-33 °C con desviación estándar, indica una dispersión de los datos como se muestra en las gráficas 1 y 2 que se alejan de la media. Excepto en el caso del comportamiento 3, cuyo valor de desviación corresponde a 14.7. Esto podría estar indicando fallas en la frecuencia de toma de temperatura. El comportamiento de la temperatura del día 35 corresponde a la fase termófila, cuyo valor promedio oscila entre 55 y 64.20 °C y una desviación comprendida entre 3.50 y 8.14, lo cual indica que los datos están agrupados muy cerca de la mediana, logrando una adecuada eliminación de patógenos, situación ajustada a los análisis microbiológicos.

La muestra cumple con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles a ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelos, ya que, según esta versión el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. En cuanto a las temperaturas promedios del día 45 donde finaliza el proceso de maduración se logra temperaturas promedias 18.3-21.8 °C con una desviación estándar 0.97-2.15 lo que indica una desviación mínima lo que a través de las pruebas físico químicas de muestreo 2 y 3 lo que podría indicar estabilidad, madurez y calidad del compost.

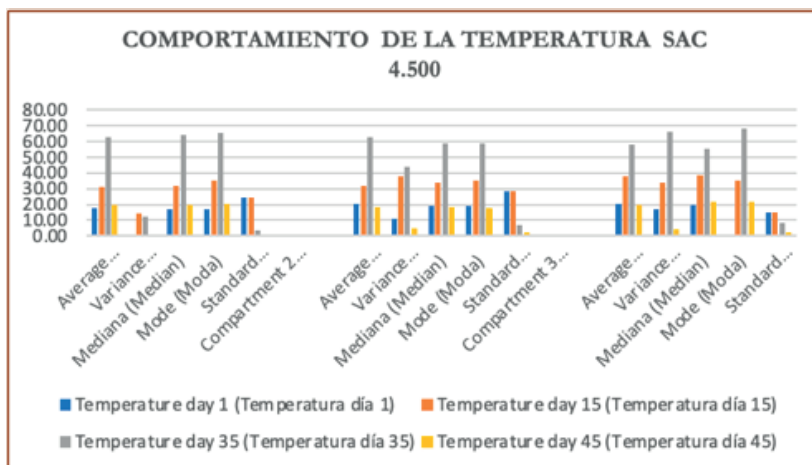
Tabla 3
Seguimientos de las Temperaturas en tres compartimentos SAC 4.500 2024

Compartiment 1 (Compartimiento 1)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	17,80	31,40	62,82	19,72
Variance (Varianza)	1,21	14,24	12,27	0,94
Mediana (Median)	17,10	31,60	64,20	19,90
Mode (Moda)	17,10	35,20	65,70	20,60
Standard deviation (Desviación estándar)	24,49	24,49	3,50	0,97
Compartiment 2 (Compartimiento 2)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	20,53	31,93	62,40	18,38
Variance (Varianza)	10,99	38,10	43,64	4,64
Mediana (Median)	19,00	33,90	58,60	18,35
Mode (Moda)	19,10	35,20	58,60	17,50
Standard deviation (Desviación estándar)	28,28	28,28	6,61	2,15
Compartiment 3 (Compartimiento 3)				
	Temperature day 1 (Temperatura día 1)	Temperature day 15 (Temperatura día 15)	Temperature day 35 (Temperatura día 35)	Temperature day 45 (Temperatura día 45)
Average (Promedio)	20,53	37,57	57,94	19,72
Variance (Varianza)	16,68	33,79	66,23	4,29
Mediana (Median)	19,50	38,30	55,20	21,80
Mode (Moda)	#N/A	35,20	68,00	21,80
Standard deviation (Desviación estándar)	14,87	14,87	8,14	2,07

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Figura 10

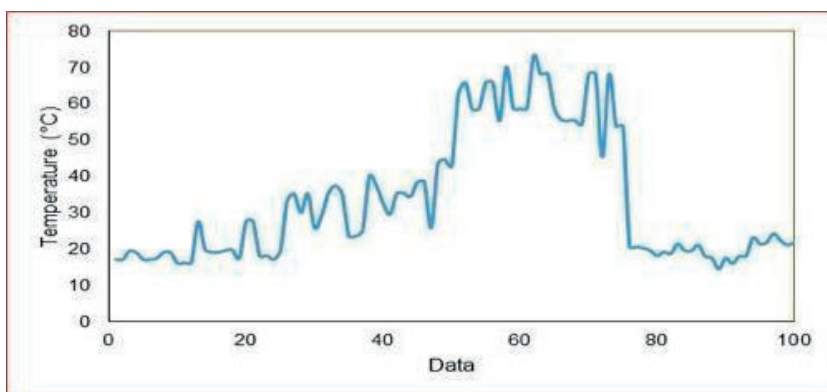
Tratamiento estadístico seguimientos de temperaturas



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

Figura 11

Toma de temperaturas



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

El muestreo de la primera carga de diciembre de 2023 identifica Muestra No. AM000288202 (anexo 1). La muestra cumple con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles de ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores

de suelos, ya que, según esta versión, el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. Otro de los parámetros importantes e indicativos del avance del proceso es la humedad. Para este parámetro se obtuvo un valor de 58.1 %, valor por encima del rango exigido por la norma y lejano a lo esperado al final de la primera etapa del proceso (32 días). Esta pérdida de humedad se da debido al arrastre de agua por el calor metabólico exotérmico generado por la flora microbológica asociada al proceso y a procesos de evapotranspiración. Con esto se puede presumir que el sistema pudo alcanzar temperaturas superiores a la ambiental que no fueron suficientes para perder la humedad esperada.

Con respecto a la densidad, se espera que, realizando la mezcla recomendada de material biodegradable y estructurante al inicio del proceso y bajo un adecuado desarrollo del proceso de compostaje, al final de la primera etapa (32 días de proceso), la densidad no debe superar 0.6 kg/L. El valor encontrado para esta muestra fue de 0.25 kg/L; si bien el valor encontrado está por debajo de lo máximo permitido, este parámetro es un indicativo de las materias primas usadas. Por esto, presuntamente se puede determinar que el material alimentado en el sistema presenta una mezcla con baja densidad o rica en material estructurante.

En términos de los macronutrientes, se obtuvo 0.515 % de nitrógeno, 0.675 % de fósforo, 0.443 % de potasio y 16 % de carbono orgánico oxidable, valores representativos para muestras de residuos sólidos orgánicos separados en la fuente. Así mismo, se evidencia un porcentaje de carbono orgánico oxidable por encima de lo mínimo establecido con el que se da satisfactorio cumplimiento a la norma. Las cargas marzo-mayo 2024, julio a septiembre 2024, se anexa informe y análisis de los respectivos análisis de recuento microbológico de suelo con los métodos (Norma interna para la enumeración de bacterias fijadoras de nitrógeno, NTC 4458:2018, NTC 5264:2023, Potenciometría 300-0301-000012, Bacterias mesófitas aerobias ISO 4833-2:2013, Norma interna para la enumeración de actinobacterias y/o compost), análisis de metales pesados totales en suelos fueron entregados y a la fecha de la elaboración de este artículo no han sido entregados, por tanto, en un anexo se entrega tabla de resultados y análisis de los mismos (Anexo 2).

Destacando que uno de los factores a controlar en una correcta producción de compost se encuentra su relación Carbono-Nitrógeno (C/N) inicial, cuyo rango ideal se encuentra entre los 25 y 35. Se realiza mediante la selección de materiales atendiendo a la tipología de materiales utilizados en la preparación de mezclas carga 2 y carga 3. Para aplicar las ecuaciones mostradas anteriormente, se organizó la información disponible para tener la cantidad de material añadido a la composta según el tipo de material, y con ello se realizó la búsqueda del contenido de sólidos totales del material en sí. Obteniendo la siguiente Tabla 4 y se aplican las ecuaciones 1 a 6 citadas en métodos.

Tabla 4

Carga por tipo de residuo solido orgánico y su % de sólidos

Material RSO	Humedad (%)	Sólidos (%)	Carga (kg)	Fuente
Cascara de banano	11,91	88,09	486,60	(López et. al. 2014)
Cascara de papa	85,10	14,90	62,50	(Javed, et. al. 2019)
Residuos de jardín (Pasto)	90,00	10,00	550,00	(Bohl, et. al. 2009)
Manzana	85,60	14,40	102,50	(USDA, s.f.)
Granadilla	86,40	13,60	20,00	(Sittipa, et. al. 2020)
Café	2,00	98,00	12,50	-
Cascaras de huevo	0,95	99,05	32,50	(Rosnah, et. al. 2021)

Fuente: Oscar Monrroy, 2024.

Como se puede ver en la Tabla 4, el mayor aporte a la composta proviene de los residuos de jardín, seguido de las cáscaras de banano, los cuales representan un 82 % del peso total de los residuos sólidos agregados a la composta. Aplicando las ecuaciones 3-5, con los datos mostrados anteriormente se calcularon las emisiones de GEI reportadas en la Tabla 5. Molina Ramírez I.E.D.

Tabla 5*Emisiones calculadas para el proceso de compostaje del Colegio Gerardo*

Contaminante	Factor de emisión	Emisiones totales	Unidades
CO ₂	0.44	244 147	kg CO ₂
CH ₄	0.004	5066	kg CH ₄
NO ₂	0.0003	0.380	kg N ₂ O
Emisiones totales		468 335	kg CO ₂ eq

Fuente: Oscar Monroy, 2024.

En el cálculo realizado con la composición aproximada de RSO añadidos a la compostera, se obtuvo que las emisiones totales del proceso capturaron 469 kg de dióxido de carbono equivalente secuestrado en el SAC 4.500. Sin embargo, hay que considerar que, mediante el uso de las fórmulas reportadas, se considera que toda la fracción sólida de los residuos emite GEI, algo que hay que corroborar midiendo directamente las emisiones en la compostera, para lo cual se propone la construcción de un sensor MQ-135 de calidad del aire Arduino CO₂ en la unidad STEAM+ H.

3.2. Prueba de germinación de semillas y plantulación de frailejones para determinar la madurez del Compost

En procesos de germinación se emplearon tres técnicas la primera la técnica de algodón la que dio una efectividad del 30 % y luego se llevó a plantulación en una mezcla de 3 partes de compost por una de suelo de jardinería la cual ser efectiva con 32 frailejones plantulados y llevado a proceso de exposición de 4 horas exposición/diaria a bombillos foto periodo luz blanca (Figuras 1-14). Como elemento de discusión el proyecto de prueba de germinación indica estabilidad y madurez del compost lo que ha permitido una respuesta de crecimiento de especies de frailejónespecialmente los géneros: *Espeletia lopezzi* y *Espeletia pycnophylla*.

Figura 12

Geminación de semillas de frailejón en compost

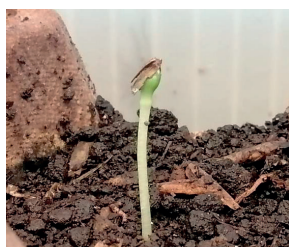


Figura 13

Geminación de semillas de frailejón en algodón

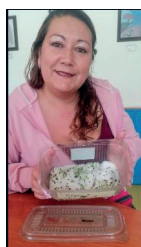


Figura 14

Plantulación en sustrato compost



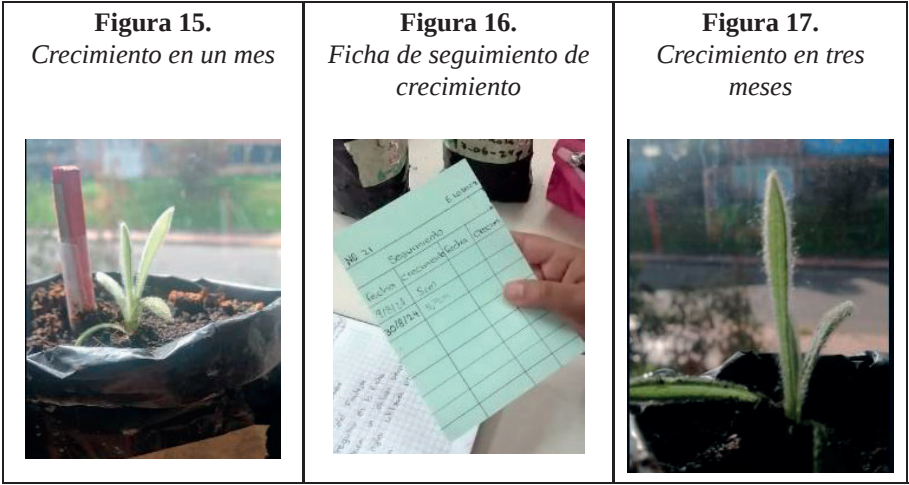
Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

Se reportan hallazgos de crecimiento 1-6 cm de crecimiento durante un periodo de 3 meses como se observa en la Tabla 6. Y se ilustra en las figuras del 15 a 17.

Tabla 6*Seguimiento crecimiento Espeletia lopezzi*

Nº planta	Crecimiento en Espeletia lopezzi (cm)			
	Abril	Julio	Agosto	Septiembre
1	1.00	3.00	3.00	4.00
2	1.00	2.00	2.80	3.80
3	1.00	1.80	1.80	2.00
4	1.00	2.00	2.00	2.50
5	1.00	2.00	4.00	4.50
6	1.00	2.00	3.00	4.00
7	1.00	3.00	5.00	5.50
8	1.00	3.00	3.00	4.00
9	1.00	5.00	0.00	0.00
10	1.00	3.50	3.50	4.50
11	1.00	2.50	3.00	3.50
12	1.00	2.00	3.50	4.00
13	1.00	0.00	0.00	0.00
14	1.00	2.00	4.00	5.00
15	1.00	1.50	0.00	0.00
16	1.00	2.50	3.80	4.80
17	1.00	2.00	3.00	4.00
18	1.00	2.00	0.00	0.00
19	1.00	3.00	3.00	4.00
20	1.00	2.00	3.50	4.50
21	1.00	4.00	5.00	5.50
22	1.00	4.50	5.50	6.50
23	1.00	3.00	4.00	5.00
24	1.00	2.10	3.50	4.00
25	1.00	2.50	0.00	0.00
26	1.00	2.50	3.00	4.00
27	1.00	3.50	4.50	5.00
28	1.00	4.50	5.50	6.00
29	1.00	4.00	4.50	5.00
Promedio	1.00	2.67	3.01	3.64

Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024



Fuente: Fanny Hernández Quintero.2024

3.3. Cálculos de rendimiento- economía circular y compostaje

Los rendimientos son determinantes a la hora de pensar en economía circular; en este caso se ha establecido un rendimiento del 69 % sin tomar en cuenta el material estructurante, es decir que con 100 kg de residuo orgánico se podrían obtener 69 kg de compost y tomando en cuenta el material estructurante se puede afirmar que con 2183g de mezcla se puede obtener 21 kg de compost, reportado en la Tabla 7.

Tabla 7
Cálculos de rendimiento

Carga RSO (KG	Carga ME (kg)	Compost (kg)	Materia orgánica compost (MO)	Rendimiento %
1602	2183	1120	0,69	69

Fuente: Pilar Vargas Clavijo, 2024.

4. Conclusiones

Las características del compost se pueden agrupar en tres ámbitos: las relacionadas con el rendimiento del producto, que arrojó un dato de 69 %, es decir, que por cada 100 kg de materia orgánica se obtienen 69 kg de compost sin tomar en cuenta el material estructurante, y sumando el material estructurante se obtiene un rendimiento del producto del 69 %, es decir, por cada 100 kg de materia orgánica se obtienen 69 kg de compost. De la misma forma, cabe anotar que no hay ningún tipo de desperdicio en la etapa final de cernido del compost, ya que el material sobrante después del filtrado se reincorpora a la compostera. Las muestras cumplen con los parámetros microbiológicos mínimos exigidos para productos orgánicos susceptibles de ser usados como abonos, fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelos, ya que, según esta versión, el material debe contener <1.000 NMP/g de coliformes totales y para este caso se encontraron 460 NMP/g de coliformes totales. Situación que se corrobora con el seguimiento de temperatura, especialmente en la fase termófila. La composición aproximada de RSO añadidos a la compostera se obtuvo de las emisiones totales del proceso de captura: 469 kg de dióxido de carbono equivalente secuestrado en el SAC 4.500.

El proyecto de prueba de germinación indica un 30% de efectividad, lo que indica estabilidad y madurez del compost, lo que ha permitido una respuesta de crecimiento de especies de frailejón, especialmente los géneros *Espeletia lopezzi* y *Espeletia pycnophylla* han mostrado en plantulación 1 cm promedio de crecimiento por mes y un promedio de 30 días de germinación en sustrato. Lo que puede sugerir que el compost podría ser adaptado para hacer reemplazo TS1, lo que podría ser un manejo de procesos de economía circular y procesos de sustentabilidad ambiental relacionado con captura de carbono y recuperación de zona de frailejón cuenca alta río Gamesa. A nivel de procesos de educación ambiental orientada a encauzar medidas contempladas EN E-20250, el proyecto facilita el desarrollo de una propuesta pedagógica transversal de e-book en el marco STEAM + H, lo que facilita el desarrollo del pensamiento crítico y el empoderamiento de procesos de justicia climática.

Referencias bibliográficas

- Arguedas, A. A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia. *Ambientico*, (274), 56-62. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-tratamiento-de-residuos-organicos-en-san-rafael-de-heredia/>
- Arroyo Narváez, M. (2017). *Políticas públicas de adaptación al cambio climático en Bogotá D.C.: Un análisis de la implementación* [Tesis]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59629>
- Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAEM). (2015). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa*. https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf
- Camacho-Tamayo, E. (2024). Educación STEAM como estrategia pedagógica en la formación docente de ciencias naturales: Una revisión sistemática. *EduTec: Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (87), 220-235. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.87.2929>
- Gobierno de Colombia. (2021). *Estrategia climática de largo plazo de Colombia para cumplir con el Acuerdo de París (E2050)*. <https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2021/05/040521-DOCUMENTO-LTS-E2050-COLOMBIA.pdf>
- Estrocio, H. K. (2022). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible como impulsores del crecimiento de STEAM en el País Vasco: prácticas de excelencia. *DYNA Management*, 10(1), 1-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8288334>
- Garzón Suárez, Y.(2018). Integridad ecológica de la laguna de páramo La Virginia (Colombia) basada en indicadores biológicos y del hábitat. *Repositorio Utadeo*. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/4148>
- Hernández, F. (2010). *Componentes ambientales del páramo de Sumapaz*.
- Hernández-Gerónimo, G. (2022). Cálculos estequiométricos de facto-

- res de emisión para estimar emisiones fugitivas de gases de efecto invernadero en un centro de acopio de residuos sólidos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 165-179. <https://doi.org/10.20937/RICA.54024>
- Huanchi, D. (2023). Educación y cambio climático: respuestas y retos a la turbulencia del siglo XXI. *Revista Revoluciones*, 5(12), 134-147. <https://doi.org/10.35622/j.rr.2023.012.007>
- Martínez, M. P. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Mazzarino, M. J. (2012). *Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost*. En *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso* (pp. xx-xx). UNRN y Orientación Gráfica Editora. <https://asacomp.com.ar/wp-content/uploads/2021/12/Mazzarino-et-al-2012-Libro-compost-Indicadores.pdf>
- Medina Moreno, J., Pulido Ochoa, J., Sánchez Gómez, N. et al. (2017). *Participación comunitaria y evaluación técnica para la gestión integral del recurso hídrico en el área de influencia de las cuencas de la quebrada Honda, el Río Salitre, el Lago Sochagota, los ríos Pesca y Tota, la subcuenca del río Gámeza*. Repositorio UPTC. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/6879>
- Nordahl, L., Preble, C., Kirchstetter, T., & Scown, C. (2023). Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting. *Environmental Science & Technology*, 57(6), 2235-2247. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05846>
- Rodrigo-Cano, D. P. (2019). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible como marco para la acción y la intervención social y ambiental. Retos: *Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(17), 25-36. <https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.02>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54), e2505. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Salas Pérez, C., & Coy Castro, D. (2019). *Análisis espacial de islas de calor en la ciudad de Bogotá: los efectos de la urbanización, un estudio desde la teledetección*. Repositorio UD. <https://repository.udistrital.edu.co/items/0b4ab667-19fa-42f9-93e8-df27dbd811a8>

Seguí, L. M., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). *Gestión de residuos y economía circular*. EAE Business School. https://www.economiadehoy.es/adjuntos/35637/SRC_Residuos.pdf

