

**Propuesta para la producción de compostaje a partir de los residuos vegetales generados por una empresa de silvicultura de la ciudad de Medellín-Antioquia**

Brahian Alejandro Naranjo Bedoya

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Tecnología en Manejo y Comercialización Agroforestal

Medellín

2024

**Propuesta para la producción de compostaje a partir de los residuos vegetales  
generados por una empresa de silvicultura de la ciudad de Medellín-Antioquia**

Brahian Alejandro Naranjo Bedoya

Proyecto aplicado para optar al título de  
Tecnología en Manejo y Comercialización Agroforestal

Asesora

Luisa Fernanda Casas Herrera

Ingeniera Forestal Msc.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Tecnología en Manejo y comercialización agroforestal

Medellín

2024

## Resumen

En este proyecto aplicado como opción de grado del programa de Tecnología en Manejo y Comercialización Agroforestal de la UNAD, se presenta una propuesta técnica para la producción de compostaje, a partir de los residuos vegetales generados por una empresa de silvicultura de Medellín, la cual realiza labores de tala y poda del arbolado urbano en el área metropolitana del Valle de Aburrá; y que produce aproximadamente 208 m<sup>3</sup>/mes de chippeado de residuos vegetales los cuales generan dificultad a la empresa con su disposición final. En esta propuesta, se diseñó un sistema abierto de compostaje en las instalaciones del Politécnico Jaime Isaza Cadavid, se evaluó la factibilidad financiera del proyecto y analizaron los impactos ambientales, económicos y sociales que generan este tipo de negocio verde. El estudio de factibilidad financiera indica que esta propuesta técnica para la producción de compostaje es económicamente viable, toda vez que la tasa interna de retorno (TIR) fue del 208%, la relación beneficio/costo fue de 5,13 y el valor presente neto (VPN) fue de \$ 2.610.347.33; además, con la implementación de este proyecto se analiza un impacto ambiental y socioeconómico positivo, toda vez, que ofrecerá una solución para la inadecuada disposición de dichos residuos vegetales; y se generarán nuevos empleos técnicos y administrativos.

***Palabras clave:*** Negocio verde, impacto, indicador económico, abono.

### **Abstract**

In this project applied as a degree option of the UNAD Agroforestry Management and Marketing Technology program, a technical proposal is presented for the production of composting, from plant waste generated by a forestry company in Medellín, which carries out felling and pruning of urban trees in the metropolitan area of the Aburrá Valley; and that generates approximately 208 m<sup>3</sup>/month of chipped plant waste with which there is difficulty with its final disposal. In this proposal, an open composting system was designed in the facilities of the Jaime Isaza Cadavid Polytechnic, the financial feasibility of the project was evaluated and the environmental, economic and social impacts generated by this type of green business were analyzed. The financial feasibility study indicates that the technical proposal for composting production is economically viable, since the internal rate of return (IRR) was 208%, the benefit/cost ratio was 5.13 and the net present value (VPN) was \$2,610,347.33; Furthermore, with the implementation of this project, a positive environmental and socioeconomic impact is analyzed, which will offer a solution for the inadequate disposal of said plant waste; and new technical and administrative jobs will be generated.

**Keywords:** Green business, impact, economic indicator, fertilizer.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	8
Justificación. ....	10
Identificación del Problema .....	12
Objetivos .....	14
Marco Teórico.....	15
Desarrollo Técnico de la Propuesta .....	24
Evaluación de Factibilidad Financiera.....	32
Impactos del Proyecto (social, económico y ambiental). ....	40
Recomendaciones .....	42
Conclusiones .....	43
Referencias Bibliográficas .....	44

**Lista de Tablas**

Tabla 1 .....	26
Tabla 2 .....	30
Tabla 3 .....	32
Tabla 4 .....	33
Tabla 5 .....	33
Tabla 6 .....	34
Tabla 7 .....	34
Tabla 8 .....	35
Tabla 9 .....	35
Tabla 10 .....	36
Tabla 11 .....	36
Tabla 12 .....	37
Tabla 13 .....	38

## Lista de Figuras

Figura 1 .....	17
Figura 2 .....	18
Figura 3 .....	24
Figura 4 .....	25
Figura 5 .....	28
Figura 6 .....	28

## Introducción

La gestión de residuos vegetales ha sido un desafío constante en nuestro país, donde específicamente, el material proveniente de la silvicultura tiende a acumularse debido a la falta de un proceso adecuado de disposición final. Esta acumulación excesiva sobrecarga los puntos de acopio destinados a este tipo de residuos que en su mayoría son rellenos sanitarios y con los cuales se merman su vida útil (Aristizabal et al., 2015) , y por lo tanto, es crucial encontrar soluciones efectivas para abordar esta problemática de manera sostenible y eficiente.

Así mismo, desde la experiencia laboral del autor de este documento, se ha identificado en la ciudad de Medellín un déficit en el manejo de residuos vegetales en cuanto a las empresas dedicadas a las actividades de tala y poda del arbolado urbano. En lugar de implementar un adecuado proceso de disposición de residuos vegetales, estas empresas buscan a terceros para delegar la disposición final. Por ende, la generación de proyectos basados en la producción de compost puede ofrecer solución este problema, que podrían evitar gastos y generar ingresos adicionales para dichas empresas.

Es importante tener en cuenta que la aplicación de productos como el compost al suelo trae beneficios directos e indirectos como por ejemplo el mejoramiento de la capacidad de intercambio catiónico, regulación del pH y se incorporan poblaciones microbianas beneficiosas que estimulan el crecimiento de las plantas (Santana, 2019).

Además, de acuerdo con Docampo (2013), el compost es la parte más importante de un huerto ecológico; ya que cuando se agrega superficialmente el compost sobre el terreno, se mejora

las propiedades físicas del suelo; donde los nutrientes y materia orgánica mejoran la textura, la aireación y la capacidad de retener aire y agua (Santana, 2019).

Esta propuesta de proyecto para la producción de compostaje, busca generar una economía circular implementando estrategias sustentables y sostenibles que brindan un valor adicional positivo en la actividad diaria que realiza la empresa de mantenimiento de despeje de redes eléctricas y que presta servicios silviculturales en la región metropolitana zona norte del Valle de Aburrá.

Para esto, con este proyecto se diseñará un sistema abierto de producción de compostaje para implementarlo en un futuro en las instalaciones del Politécnico Jaime Isaza Cadavid; además, se evaluará la factibilidad financiera del proyecto por medio de indicadores económicos y se analizarán los impactos del mismo desde aspectos ambientales, económicos y sociales.

### **Justificación.**

Los residuos vegetales generados por el proceso de poda y tala, asociados a las actividades de mantenimiento y redes de alta tensión del área metropolitana del Valle de Aburrá, genera la inquietud de cómo se puede aprovechar el residuo vegetal generado por dichas actividades. El componente arbóreo en la ciudad, es necesario mantenerlo para la planeación objetiva de los espacios urbanos debido a los beneficios ambientales, paisajísticos, estéticos, sociales, recreativos y económicos que genera para la población (Tovar, 2007).

Así, la aplicación del chippeado compostado aporta a este componente un valor agregado tanto a nivel paisajístico como nutricional, dando como resultado el aprovechamiento total desde los principios básicos de economía circular, puesto que se realiza poda, acopio temporal y transformación de residuos vegetales, completando el ciclo al aplicar el material vegetal compostado.

Es importante considerar, que el sustrato es uno de los factores más importantes en la producción de plantas y árboles, ya que proporciona el soporte, los nutrientes y agua necesarios para su desarrollo (Cruz *et al.*, 2013). Además, las características físicas y químicas del sustrato limitan la variedad de especies que se pueden cultivar (Varela, 2013).

Así, cuando se adiciona compost a un sustrato edáfico, se pueden modificar características físicas y químicas fundamentales, como por ejemplo la aireación, la porosidad, la densidad, la capacidad de retención de agua y el contenido de nutrientes minerales (Varela, 2013).

Por otra parte con la implementación de un sistema de compostaje, se busca generar un impacto económico, social y ambiental; donde este último es el más trascendental e importante en las estrategias de conservación de suelos, de la biodiversidad y en las acciones para mejorar la estética del entorno paisajístico.

## **Identificación del Problema**

La empresa que presta servicios silviculturales en la Región Metropolitana zona norte se encargan de brindar el servicio de tala y poda del arbolado urbano, dentro de estas actividades se ha dificultado la disposición final de material vegetal; sin embargo, el Politécnico Jaime Isaza Cadavid le ha brindado sus espacios para este fin. Parte de estos residuos son usados por los estudiantes para sus prácticas, pero se han desaprovechado grandes cantidades de este material vegetal. Dada esta situación, se han generado varias problemáticas por su disposición, al no aprovechar este recurso tan importante en las zonas verdes del politécnico; por consiguiente, en nuestra visita a la sede de la universidad realizamos un análisis de cada una de las inconvenientes que presenta dicho sitio.

Una de las complicaciones es la estética del lugar, pues no se tiene una zona de acopio definida, por lo que hay residuos en varios lugares del campus. Así, generalmente se presentan discusiones diarias para encontrar espacios libres de disposición final, debido a que con el tiempo se van agotando los espacios en esta sede del politécnico; y el residuo generado es de aproximadamente de 208 m<sup>3</sup>/mes provenientes de varios barrios de Medellín (Doce de Octubre, Popular 1, San Pablo, Castilla); y de los municipios de Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa.

Además, es importante mencionar que en el proceso de disposición no se tiene un orden ni clasificación de los diferentes materiales vegetales, como hojarasca, ramas o troncos de árboles, ya que se van depositando y esparciendo por todo el espacio los residuos de una forma no controlada y sin una supervisión pertinente para realizar dicha labor.

Por otra parte, esta situación origina una contaminación odorífera, ya que se presentan malos olores, donde una de sus principales características es que son volátiles, lo que permite que se dispersen en el ambiente, indicando que la calidad del aire no es óptima para el ser humano (Ramos *et al.*, 2017).

También, la falta de manejo de los residuos vegetales, ha generado que la comunidad educativa del politécnico se manifieste por los malos olores asociados a la generación de lixiviados. Estos olores atraen insectos que también son molestos para las personas que frecuentan este entorno, generando un ambiente “incomodo” para el desarrollo de las actividades académicas. Según la OMS cualquier experiencia que provoque un malestar físico, mental y/o emocional es un afecto a la salud; y esta condición de contaminación odorífera podría generar en la comunidad educativa: estrés, náuseas, vómitos, insomnios y problemas respiratorios (Ramos *et al.*, 2017), por ende, es indispensable darles un adecuado manejo a estos residuos vegetales.

Por último, una de las problemáticas más destacadas que se identificaron son la variedad de plagas y enfermedades que pueden generar un impacto negativo en árboles y plantas de dicho sector, por consiguiente, los arácnidos, roedores, insectos y hongos pueden afectar el crecimiento y productividad de los cultivos que se establezcan en la universidad con fines educativos, recreativos y paisajísticos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar una propuesta técnica para la producción de compostaje a partir de residuos vegetales generados a una empresa de silvicultura en Medellín.

### **Objetivos Específicos**

Realizar revisión bibliográfica sobre los aspectos teóricos y técnicos en relación con la producción de compostaje a partir de residuos vegetales arbóreos.

Diseñar un sistema abierto de producción de compostaje a partir de los residuos vegetales arbóreos.

Evaluar la factibilidad financiera de este proyecto de negocio verde.

Analizar el impacto económico, ambiental y social de producir compostaje a partir de residuos vegetales arbóreos.

## **Marco Teórico**

### **Acciones de Poda y Tala**

Las acciones de tala y poda buscan mejorar la visibilidad de las señales de tránsito, el alumbrado público, el desplazamiento de vehículos y personas; a su vez con estas acciones se intenta mitigar los riesgos del volcamiento del individuo arbóreo (Parra et al., 2010).

### **Los Residuos Vegetales**

Los residuos vegetales son los restos de árboles (ramas, hojas, aserrín,) que se generan a través acciones como poda y tala, las cuales se realizan con el fin de buscar el cuidado de los árboles y el despeje de la red de distribución de energía (Parra et al., 2010).

### **Compostaje**

Es un proceso de descomposición que ocurre cuando los restos orgánicos de plantas y animales muertos se acumulan en el suelo. Estos materiales se descomponen gracias a la acción de insectos y microorganismos, transformándose en nutrientes esenciales para las plantas (Román, 2022).

## Fases del Compostaje

Las fases del compostaje representan procesos biológicos donde las condiciones aeróbicas, como la temperatura y la humedad son los factores indispensables para la transformación del material vegetal (Román, 2022). A continuación, se detallan las cuatro etapas del compostaje:

### *1. Fase Mesófila*

Durante esta fase inicial del compostaje, la temperatura ambiente aumenta rápidamente en cuestión de horas hasta alcanzar los 40°C. Este incremento se debe a la intensa actividad microbiana, ya que en esta etapa los microorganismos utilizan fuentes simples de carbono (C) y nitrógeno (N), lo que genera calor. Esta fase suele durar entre dos y ocho días. (Docampo, 2013)

### *2. Fase Termófila*

Esta etapa comienza cuando las temperaturas alcanzan valores superiores a 45°C, lo que permite la degradación de la celulosa y la lignina. Durante este proceso, los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, lo que eleva el pH hasta alcanzar un valor de 8.5. Esto da lugar a la proliferación de bacterias responsables de descomponer todos los compuestos presentes. La duración de esta fase varía y puede durar varios meses según las condiciones ambientales (Román, 2022; Moreno,2008).

### 3. Fase de Enfriamiento

En esta fase se agotan las fuentes de carbono y en especial el nitrógeno en el material en proceso de compostaje. La temperatura en la fase de enfriamiento desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase continúa la degradación de polímeros como la celulosa y aparecen algunos hongos observables a simple vista (Román, 2022).

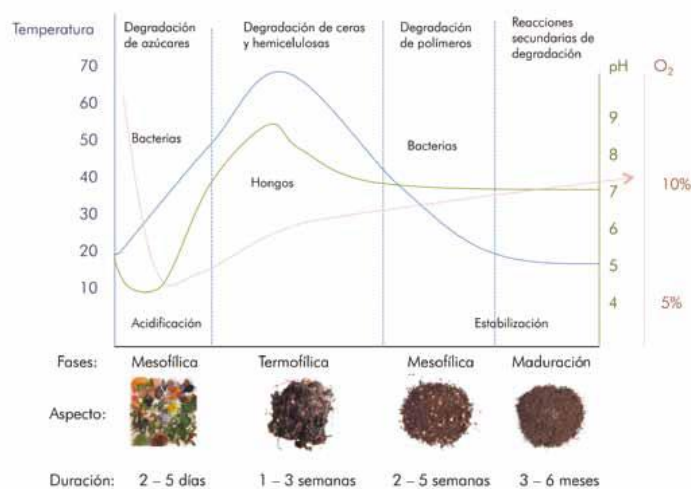
### 4. Fase de Maduración

En esta etapa se termina el enfriamiento y se forman las nuevas moléculas. Dicha fase tiene un tiempo de desarrollo de aproximadamente cuatro semanas a temperatura ambiente; y se caracteriza por presentar una baja actividad microbiana y pH alcalinos (Santana, 2019).

En la figura 1 se podrá identificar las fases del compostaje, su posible duración y el nivel de temperatura.

#### Figura 1

*Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje*



*Nota.* El gráfico representa la temperatura, oxígeno, pH en el proceso del compostaje en las diferentes fases. (Román, 2022. Pag 25).

## Técnicas de Compostaje

Para llevar a cabo la técnica de compostaje de manera efectiva, es fundamental tener en cuenta los siguientes factores: el tiempo necesario para el proceso, los estándares de seguridad e higiene requeridos, así como las condiciones climáticas del lugar, que pueden incluir temperaturas extremadamente bajas, vientos fuertes, lluvias intensas y otros eventos climáticos extremos (Román, 2022).

Según Bertoldi *et al.*, (1985) los sistemas abiertos tienen un menor costo y el manejo e instalaciones son más sencillos, mientras que los sistemas cerrados conllevan una infraestructura más compleja y costosa. A continuación, se presenta la figura 2 donde se presentan las características de los sistemas abiertos y los sistemas cerrados.

### Figura 2

#### Técnicas de Compostaje

<u>Sistemas abiertos</u>	
Pilas con volteo	
Pilas estáticas	con succión de aire aire insuflado ventilación alternada (succión e insuflado) insuflado vinculado a control de temperatura
<u>Sistemas cerrados</u>	
Reactores verticales	continuos discontinuos
Reactores horizontales	estáticos con movimiento del material

*Nota.* El gráfico presenta las técnicas (Bertoldi *et al.*, 1985).

## **Beneficios de Compost**

El compost presenta un alto grado de beneficios como alto contenido de materia orgánica, supresión de enfermedades edáficas, recuperación de recursos naturales. El más destacado es el compost en triturado por la chipper, que es utilizado para diseños de jardines y ayuda a mantener su humedad ( Grand y Michel, 2020).

## **Monitoreo en el Proceso de Compostaje**

### *Humedad*

La humedad óptima durante la fase termófila es del 50%, ya que favorece la actividad microbiana necesaria para la degradación. Este nivel de humedad permite el aumento de las poblaciones microbianas que, mediante reacciones enzimáticas, transforman moléculas orgánicas más estables (Santana, 2019).

### *Temperatura*

La temperatura juega un papel crucial en el proceso de compostaje, ya que tanto la temperatura como el tiempo influyen en la eficacia de la descomposición, al condicionar las reacciones bioquímicas en la materia orgánica (Santana, 2019; Román, 2022).

Según Bueno y Cabrera (2008), el proceso de compostaje se divide en tres fases: una fase mesófila, en la que la temperatura es inferior a 45 °C; una fase termófila, en la que la temperatura supera los 45 °C; y una fase de enfriamiento, en la que la temperatura vuelve a alcanzar valores ambientales.

## ***PH***

Varía en cada una de las fases de descomposición, en el cual la mayor de la actividad microbiana se produce a partir de 6.0- 7.5. Los hongos toleran un rango entre 5,5 y 8, dado que al inicio del proceso forman un alto porcentaje de ácidos orgánicos (Moreno y Moral 2008).

## **Sistemas de Compostaje**

### ***Sistema Abierto***

Las pilas abiertas cuentan con dos sistemas: uno de ellos son las pilas de volteo y el otro sistema son las pilas estáticas, en las cuales buscan una ventilación alterna y el monitoreo de la temperatura. En este sistema el alto grado de tecnificación es hallado como resultado del sistema de volteo de pilas puesto que la aireación permite excelentes canales de oxigenación y la recolección de lixiviados (De Bertoldi *et al.* ,1985).

### ***Sistemas Cerrados***

Los ambientes confinados se caracterizan por permitir un mayor control de la liberación de gases provenientes de la biomasa en compostaje. Estos entornos son especialmente útiles durante las fases del proceso de compostaje, ya que se puede controlar la aireación y da regulación a los malos olores; no obstante, una de sus deficiencias es el alto costo de implementación (Docampo, 2013).

## **Negocio Verde**

Son actividades económicas que se centran en ofrecer bienes o servicios que generan un impacto ambiental positivo; y al mismo tiempo incorporan prácticas ambientales, sociales y económicas ( Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2022).

## **Evaluación de la Factibilidad Financiera**

### ***Costos***

Son los recursos económicos que son utilizados para gastos de insumos, pago de jornales, salarios de personas, maquinaria e instalaciones (Ramirez *et al.*, 2010; Mete, 2014).

### ***Ingresos***

Son beneficios económicos que conducen al aumento de patrimonio neto (Ramirez *et al.*, 2010, Mete, 2014).

## **Factibilidad Financiera**

El análisis de factibilidad financiera es una evaluación que demuestra la rentabilidad de un proyecto. Concretamente se evalúa los rendimientos monetarios como resultado de la inversión de fondos o recursos (Rubiano, 2000; Mete, 2014).

En los análisis de factibilidad financiera se pueden calcular ciertos indicadores económicos; y de acuerdo con el valor obtenido, se puede analizar si el proyecto es rentable económicamente. A continuación, se explica algunos de estos indicadores:

### **Tasa Interna de Retorno**

Es la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) de un proyecto es igual a cero ( $VAN = 0$ ). En definitiva, este indicador mostrara si la inversión es rentable si la TIR es mayor que la tasa de descuento (Rubiano, 2000; Mete, 2014).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

$F_t$  son los flujos de dinero en cada periodo  $t$

$I_0$  es la inversión realiza en el momento inicial ( $t = 0$ )

$n$  es el número de periodos de tiempo

### **Valor Presente Neto**

Es el valor de los flujos de efectivo proyectados y descontados al presente. Este indicador es utilizado por los contadores para la elaboración de presupuestos de capital; además, los analistas e inversores lo implementan para evaluar la rentabilidad de los proyectos propuestos (Rubiano, 2000; Mete, 2014).

Para calcular el valor actualizado neto, se asigna una cierta tasa de descuento ó de interés al flujo neto de efectivo del proyecto. Si el valor actualizado neto es mayor que cero, la alternativa es financieramente factible (Rubiano, 2000; Mete, 2014).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+d)^t}$$

**B<sub>t</sub>** = Beneficios del año t  
**C<sub>t</sub>** = Costos en el año t  
**d** = Tasa de descuento  
**n** = Número de años  
**t** = Número del año que se calcula

### Relación Beneficio Costo

La relación beneficio/costo, se calcula como el cociente entre los beneficios y los costos, teniendo en cuenta cierta tasa de descuento. Cuando el cociente es mayor que la unidad, el beneficio es mayor que el costo y se considera que la alternativa es financieramente rentable (Rubiano, 2000; Mete, 2014).

$$\text{Relación beneficio/costo} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+d)^t}}$$

**B<sub>t</sub>** = Beneficios del año t  
**C<sub>t</sub>** = Costos en el año t  
**d** = Tasa de descuento  
**n** = Número de años  
**t** = Número del año que se calcula

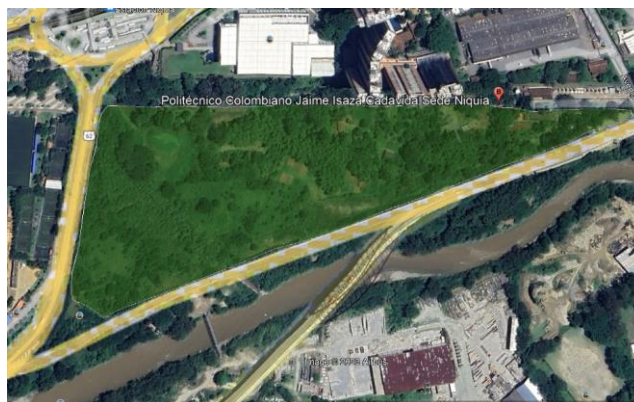
## Desarrollo Técnico de la Propuesta

### Localización Geográfica

El Politécnico Jaime Isaza Cadavid está ubicado en Niquía del municipio de Bello, el cual hace parte de la zona norte del área metropolitana del Valle Aburrá. Esta institución se encuentra a una altitud de 1.310 msnm, donde la temperatura promedio es de 26.5 °C y la precipitación promedio es 2958 mm. En este lugar se presenta una topografía escarpada y a sus alrededores hay presencia montañas, cerros y valles. A continuación, se presenta la zona del Politécnico Jaime Isaza Cadavid donde se disponen los residuos vegetales (Figura 3).

### *Figura 3*

#### *Zona de Compostaje Politécnico Jaime Isaza Cadavid*



*Nota.* Zona Politécnico Jaime Isaza Cadavid Fuente. Google Earth, 2024. autoría propia

Por otra parte y de acuerdo con estudios realizados por Corantioquia (2010), en el municipio de Bello, se han identificaron las siguientes especies de fauna silvestre: Rana gladiadora (*Boana pugnax*), zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*), iguana verde (*Iguana iguana*), Búho currucutú (*Megascops choliba*). La fauna silvestre ayuda a mantener un equilibrio ecológico en el entorno (Corantioquia, 2010).

Finalmente, de acuerdo con la información suministrada por el aplicativo SAU (Sistemas Arbóreo Urbano), en esta institución se identifican las siguientes especies forestales: chiminango (*Pithecellobium dulce*), Leucaena (*Leucaena leucocephala*), Guayabo (*Psidium guajava*), Búcaro (*Erythrina fusca*), Palma Africana (*Elaeis guineensis.*), Samán (*Samanea saman*), Laurel (*Ficus benjamina*) y la Palma reina (*Syagrus romanzoffiana*).

### **Recolección de Material Vegetal**

En la figura 4 se presenta algunas fotografías del proceso de recolección de los residuos vegetales en uno de los municipios del área metropolitana (Bello).

#### ***Figura 4***

#### ***Fotografías Proceso de Recolección***





*NOTA.* Fotos de recolección en el área metropolitana. Autoría propia.2024

Se presenta la tabla 1 del procedimiento de limpieza y disposición final de material vegetal de la empresa Ingeomega.

***Tabla 1***

*Procedimiento Limpieza y Disposición Final Material Vegetal*

1	Identifique el punto de trabajo en donde se va a ejecutar la labor.
2	Encienda la máquina y verifique su buen funcionamiento, soporte esta revisión en el preoperacional de la máquina.
3	Evalúe la capacidad de la máquina en cuanto a tamaño y diámetro del material vegetal.
4	Verificar que el material vegetal se encuentre libre de piedras u otros elementos que puedan afectar el buen funcionamiento de la chipper.
5	Tenga precaución al manipular especies (urticarias, punzantes).
6	Tenga en cuenta el peso del material vegetal para su levantamiento.
7	Identifique la necesidad de repicar los troncos y/o trozas de volumen considerable.
8	Valide las condiciones locativas para el traslado manual del material vegetal al punto de disposición final.
9	Deposite el material vegetal en la máquina.
10	Limpie el sitio de trabajo.
11	Transporte del material vegetal triturado
12	Descargue el material vegetal en los sitios autorizados.

*Nota.* La tabla representa el proceso de disposición y limpieza del material vegetal por parte de la empresa (Ingeomega, 2023).

### **Adecuación Zonas de Compostaje**

Las primeras acciones que se realizarán para el compostaje será la adecuación de la zona donde se recibirá el chippeado de los distintos lugares del área metropolitana. Además, se realizará un banqueo del terreno y se delimitará la zona con polisombra en el cual será soportada con postes de madera inmunizada de 7 mts, esto con el fin de tener más facilidad al acceso del camión.

### **Sistemas Abiertos**

El sistema que se propondrá será el abierto con el fin de buscar un manejo y una instalación más asequible para la empresa. Se puede reconocer que este sistema es el más apropiado ya que podemos identificar las características que se requieren para crear un buen compost como la aireación, control de humedad, mezcla de compostaje (Moreno, 2008).

Por otra parte, presenta dos factores importantes: el primero es el volumen, ya que se identifica que tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 512 m<sup>3</sup> al mes; y por otro lado, el tiempo de descomposición generalmente es más rápido, ya que el oxígeno favorece la actividad metabólica de los microorganismos, los cuales son esenciales para la descomposición del material vegetal (Moreno, 2008).

En cuanto a el tamaño de la pila, según Román (2022), la variable altura es indispensable, ya que afecta el contenido de humedad, oxígeno y la temperatura; las cuales son variables que disminuyen el volumen del residuo en un 60 % debido a la compactación y pérdida de carbono.

En la figura 5 presentan algunas imágenes de pilas en descomposición y las medidas pertinentes del compost.

**Figura 5**

*Pilas en Descomposición*

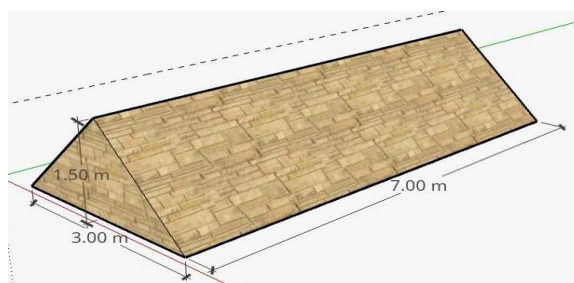


*Nota.* Fotografías pilas de compostaje abierto. Autoría propia (incluir año)

En la figura 6 se plasma las medidas pertinentes para la pila de compost de material vegetal.

**Figura 6**

*Medidas de Pilas de Compostaje Abierto*



*Nota.* Medidas idóneas para la creación de pilas bajo el sistema abierto. (Trimble Inc., 2024). Elaboración propia.

### **Monitoreo Materia Vegetal y Limpieza**

El compostaje es un proceso de descomposición en el cual los residuos vegetales del área metropolitana serán depositados en el Politécnico Jaime Isaza Cadavid. Al llegar el material a la institución, dos personas monitorearán cada uno de los camiones de residuos vegetales. Y después del monitoreo, los residuos vegetales como troncos o ramas se llevarán a la sección del sistema abierto de compostaje. Adicionalmente, se buscarán los residuos no aprovechables para su adecuada disposición, como por ejemplo papeles contaminados con comida y servilletas.

### ***Humedad***

El compostaje requiere mantener un nivel de humedad entre el 40 % y el 60 % para garantizar una actividad microbiana óptima. Por lo tanto, se utiliza un sensor de humedad para monitorear continuamente el nivel de humedad en las pilas de compost. Es crucial llevar un registro de este parámetro, ya que un aumento por encima del 60 % puede retrasar el proceso de transformación y provocar olores desagradables. Es importante destacar que, si se necesita aumentar la humedad, se puede realizar riegos adicionales según el análisis específico de cada pila de compost (Santana, 2019).

### ***Temperatura***

La temperatura es una de las reacciones más importantes en el compost en el cual el calor generado es como resultado de la actividad microbiana, donde la temperatura ideal oscila entre

49 °C y 65°C. El dispositivo que se utilizará será un termómetro digital de compost, donde se tomará dos veces a la semana (Santana, 2019; Román, 2022).

### *Oxígeno*

En la zona de volteo del compost se realizará un monitoreo, por lo cual se detallará mediante una tabla un registro de la actividad aeróbica mediante los volteos periódicos.

En la Tabla 2, se visualiza el cronograma del volteo de compost que se llevará cabo en este proyecto.

**Tabla 2**

*Tiempo de volteo de pilas*

<b>1 mes</b>	2 veces por semana
<b>2 Mes</b>	1 vez a la semana
<b>3 Mes</b>	2 veces a la semana
<b>4 Mes</b>	Volteo y empacado

*Nota.* Proceso de volteo de pilas. Elaboración propia

### **Aprovechamiento del Compost (empacado)**

Es una etapa crucial para la comercialización y esparcimiento del negocio verde, en el cual se llena un bulto de 40 kg de manera uniforme para garantizar un peso ideal. Cada bulto tendrá la respectiva etiqueta que lleva la información de lo que aporta el compost y sus principales aplicaciones de acuerdo con la normatividad colombiana.

Por otra parte, es de vital importancia conocer los posibles consumidores del producto como viveros, construcciones de parques, alcaldías, personas del común, urbanizaciones y

empresas. En definitiva, las características como cumplimiento normativo, nutrientes y una producción de alta calidad son los parámetros fundamentales para la venta.

## Evaluación de Factibilidad Financiera

### Inversión Inicial

Para poner en marcha el proyecto se necesita una inversión inicial de \$13.911.800,00 para cubrir los costos de las adecuaciones y enseres. El valor del costo de cada material y herramienta requerida para el establecimiento de este proyecto, se investigó en los principales almacenes de cadena del municipio de Medellín; y a su vez, se realizaron diferentes cotizaciones sobre el costo de la mano de obra para implementar esta fase del proyecto. A continuación, se presenta el siguiente análisis de costo de inversión (Tabla 3).

**Tabla 3**

#### *Adecuación de Cama de Compostaje Abierto*

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor	Total
Banqueo	Global	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000,00
Mano de obra de instalación de polisombra	Global	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000,00
Perro para cable galvanizado	Unid	30	\$ 2.300	\$ 69.000,00
Cable de acero galvanizado	Ml	150	\$ 4.000	\$ 600.000,00
Cemento	Bulto	4	\$ 33.500	\$ 134.000,00
Arena	Bulto	2	\$ 6.700	\$ 13.400,00
Poste de madera inmunizada	Unid	30	\$ 49.000	\$ 1.470.000,00
Transporte de materiales	Global	1	\$ 400.000	\$ 400.000,00
Instalación de polisombra	M2	600	\$ 9.700	\$ 5.820.000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 11.206.400,00</b>

*Nota.* Adecuaciones zona de compostaje. Elaboración propia.

A continuación, se visualiza la tabla 4 donde se encuentra la información del costo total de adecuación y enseres del proyecto a implementar.

**Tabla 4***Costos de Adecuación y Enseres*

<i>Descripción</i>	<i>Valor Unit.</i>
Adecuación de camas de compostaje abierto	\$ 11.206.400,00
Muebles y enseres	\$ 2.705.400,00
<b>Total</b>	<b>\$ 13.911.800,00</b>

*Nota.* Elaboración propia.

Por otra parte, para el funcionamiento del proyecto se necesitará de la participación del personal operativo. Los costos del pago de este personal, se obtuvieron de acuerdo a los salarios suministrado por la empresa de mantenimiento de redes eléctricas. En la tabla 5, se evidencia los costos operativos un técnico. No obstante, es importante tener en cuenta que de acuerdo con las labores de manejo que necesita este proyecto, se requieren en total para su operación 3 técnicos.

**Tabla 5***Costos Operativos*

<b>Concepto</b>	<b>Operario 1</b>
Cesantías	8,330%
Intereses a las cesantías	1,000%
Prima	8,330%
Vacaciones	4,170%
Pensión	12,000%
Parafiscales	4,000%
Salud	8,500%
Riesgos profesionales	1,044%
Auxilio de transporte	12,462%
<b>Total, factor prestacional</b>	<b>60%</b>
Salario mínimo mensual	\$ 1.300.000,00
Factor prestacional	\$ 777.862,00
<b>Costo total al mes por persona</b>	<b>\$ 2.077.862,00</b>

*Nota.* Elaboración propia

Para la elaboración del compostaje se debe cumplir con cada uno de los elementos de protección de personal de los operarios. En la tabla 6 se identifican sus costos.

**Tabla 6**

*Costo Elementos de Protección Personal (EPP)*

Concepto	Cantidad	Valor	Depreciación mes	Total
Mascarilla respiradora con filtro	3	22.900	\$ 34.350,00	\$ 68.700,00
Mono gafas	3	5.500	\$ 4.125,00	\$ 16.500,00
Casco	3	16.500	\$ 2.062,50	\$ 49.500,00
Guantes de carnaza	3	12.000	\$ 9.000,00	\$ 36.000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 49.537,50</b>	<b>\$ 170.700,00</b>

*Nota.* Elaboración propia

En la tabla 7 se presenta los gastos de dotación de cada uno de los operarios suministrados por la empresa de mantenimiento.

**Tabla 7**

*Dotación*

Concepto	Cantidad	Valor	Depreciación mes	Total
Camisa	3	\$ 35.900,00	\$ 26.925,00	\$ 107.700,00
Pantalón	3	\$ 38.900,00	\$ 29.175,00	\$ 116.700,00
Calzado dieléctrico	3	\$ 60.500,00	\$ 45.375,00	\$ 181.500,00
<b>Total</b>			<b>101.475</b>	<b>405.900</b>

*Nota.* Elaboración propia

Para el funcionamiento del proyecto se necesitará de la participación de un funcionario administrativo. En la Tabla 8 se evidencia el costo administrativo del proyecto. Dichos valores, están basados de acuerdo con datos reales suministrados por la empresa de mantenimiento de redes eléctricas.

**Tabla 8**

*Costos Administrativos*

Concepto	Secretaria	Gerente
Cesantías	8,330%	8,330%
Intereses a las cesantías	1,000%	1,000%
Prima	8,330%	8,330%
Vacaciones	4,170%	4,170%
Pensión	12,000%	12,000%
Parafiscales	4,000%	4,000%
Salud	8,500%	8,500%
<i>Riesgos profesionales</i>	0,522%	0,522%
Auxilio de transporte	12,462%	0,000%
<b>Total, factor prestacional</b>	<b>59%</b>	<b>47%</b>
Salario mínimo mensual	\$ 1.300.000,00	\$ 3.250.000,00
Factor prestacional	\$ 771.076,00	\$ 1.927.690,00
<b>Costo total al mes por persona</b>	<b>\$ 2.071.076,00</b>	<b>\$ 5.177.690,00</b>
	<b>Total</b>	<b>\$ 7.248.766,00</b>

Nota. Elaboración propia

Por otra parte, en la Tabla 9 se presentan los costos de las herramientas que se requerirán para implementar este proyecto.

**Tabla 9**

*Costos de Herramientas*

Concepto	Cantidad	Valor	Depreciación mes	Total
Machete	3	\$ 9.000,00	\$ 3.375,00	\$ 27.000,00
Ganchos	3	\$ 55.800,00	\$ 2.790,00	\$ 167.400,00
Manguera 300 mts	4	\$ 290.000,00	\$ 77.333,33	\$ 1.160.000,00
Palas	3	\$ 48.190,00	\$ 6.023,75	\$ 144.570,00

Termómetro análogo de compostaje	2	\$ 190.000,00	\$	15.833,33	\$ 380.000,00
lienza métrica	3	\$ 25.900,00	\$	3.237,50	\$ 77.700,00
<b>Total</b>			\$	<b>108.592,92</b>	<b>\$ 1.956.670,00</b>

Nota. Elaboración propia

En la tabla 10 se identifican los costos de insumos del proyecto.

**Tabla 10**

*Costos Insumos*

Concepto	Cantidad	Valor	Total
Bolsas basura x 10 Unidades	10	\$ 2.900,00	\$ 29.000,00
Costales x 10 Unidades	1000	\$ 1.500,00	\$ 1.500.000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 1.529.000,00</b>

Nota. Elaboración propia

**Costos Directos Mes**

En la tabla 11 se identifican los costos totales mensuales directos de este proyecto, los cuales tienen un valor en total de \$ 17.544.622,00.

**Tabla 11**

*Costos al Mes*

Costos Mensuales	
CONCEPTO	VALOR
Costos equipos de protección(EPP)	\$ 170.700,00
Dotación	\$ 405.900,00
herramienta	\$ 1.956.670,00
insumos	\$ 1.529.000,00
costos administrativos	\$ 7.248.766,00
costos operarios	\$ 6.233.586,00
<b>Total</b>	<b>\$ 17.544.622,00</b>

Nota. Elaboración propia

## Producción e Ingresos

En la Tabla 12, se presentan los ingresos por la venta del compostaje producido. Para obtener el precio del bulto de compost, se consultaron distintas empresas donde se vende este producto en la ciudad de Medellín. Así, para el año 2024 se proyecta un valor de \$40.000 por bulto de 40 Kg. En esta tabla, también se visualiza la proyección total de bultos que se pueden producir de compostaje, de acuerdo con la cantidad total de residuos vegetales producidos mensualmente por la empresa Ingeomega. Así mismo, para proyectar la cantidad real de bultos de compostaje al mes, se tuvo en cuenta una pérdida de volumen del 60%.

**Tabla 12**

### *Ingreso de Ventas*

Disposición x la empresa Ingeomega	150	Toneladas al mes
Generación en bultos de 40 kg brutos	3.750	Cantidad de bultos
Pérdida Volumen de pilas compostaje 60%	2.250	cantidad de bultos
<b>Ventas</b>	<b>90.000.000</b>	<b>Mensuales</b>

*Nota.* Elaboración propia

## Proyecciones

En la Tabla 13, se presenta la proyección costos e ingresos desde el año 2024 al año 2028, y con los cuales se realizó el estudio de factibilidad financiera. Se proyectaron los egresos e ingresos futuros utilizando un IPC del 5,17%; este valor es un porcentaje promedio de la fluctuación del índice en los últimos 15 años en nuestro país, y con el cual se regulan los bienes y

servicios de la canasta familiar. Además, para aplicar las fórmulas de los indicadores económicos, se tuvo en cuenta una tasa de interés del 17% basado en las tasas actuales que implementan algunas entidades bancarias del país.

Por otro lado, en la Tabla 13 se visualiza los valores obtenidos de los indicadores económicos; donde la **tasa interna de retorno (TIR)** es del 208%, la **relación beneficio/costo** es del 5.13; y el Valor Presente Neto (**VPN**) es de \$ 2.610.347.337.

**Tabla 13**  
*proyección*

<b>Detalle</b>	<b>Ingresos Anuales</b>	<b>Egresos Anuales</b>	<b>Flujo Proyectado</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	-\$ 426.224.304,00
<b>2024</b>	\$ 1.080.000.000,0	\$ 210.535.464,00	\$ 869.464.536
<b>2025</b>	\$ 1.135.854.782,61	\$ 221.423.808,98	\$ 914.430.974
<b>2026</b>	\$ 1.194.598.228,87	\$ 232.875.270,75	\$ 961.722.958
<b>2027</b>	\$ 1.256.379.732,92	\$ 244.918.972,25	\$ 1.011.460.761
<b>2028</b>	\$ 1.321.356.415,19	\$ 257.585.542,58	\$ 1.063.770.873
<b>Tasa de descuento</b>	17%		
<b>IPC-Proyectado</b>	5,17%		
<b>VPN</b>	\$ 2.610.347.337		
<b>TIR</b>	208%		
<b>Ingresos VPN</b>	\$ \$ 3.771.858.697		
<b>Egresos VPN</b>	\$ 735.287.056,38		
<b>Relación beneficio/costo</b>	5,13		

Nota. Proyecciones y factibilidad financiera del proyecto. Elaboración propia.

## Indicadores

Una tasa interna de retorno (TIR) del 208% nos indica que el proyecto genera un rendimiento de alto porcentaje a comparación a la inversión inicial, esto quiere decir que producirá ganancias a la empresa de mantenimiento.

Una relación beneficio/costo 5,13, nos muestra que los beneficios superan los costos del proyecto, ya que los costos son menores y por ende generarán una buena rentabilidad.

Un VPN \$ 2.610.347.337 nos indica un excedente positivo del valor del proyecto en el presente y el cual es mucho más grande que el valor de la inversión inicial.

Así, con los valores obtenidos de estos tres indicadores económicos, se puede inferir que este proyecto es viable económicamente.

## **Impactos del Proyecto (social, económico y ambiental).**

### **Impacto Social**

El desarrollo del compostaje genera diversos impactos positivos y sostenibles. Una de ellas es la generación de empleo, en el cual contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de las familias de los integrantes de este proyecto. También, se generarán impactos trascendentales como el desarrollo de habilidades y adquisición de nuevas capacidades en la producción de compostaje con parámetros de calidad.

Por otra parte, otro de los impactos sociales es que se puede fomentar la educación ambiental a la comunidad universitaria con respecto al manejo y utilización de los residuos vegetales, pues los integrantes de la institución podrán visualizar y aprender desde sus instalaciones como es el proceso para la producción de compostaje.

### **Impacto Ambiental**

El impacto ambiental más relevante del proyecto es que se contribuirá con la reducción y reutilización de residuos vegetales. Además, el producto final servirá como sustrato complementario para la producción de material vegetal.

Por otro lado, se aportará al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la educación y conservación de la biodiversidad; lo cual aporta a su vez a la empresa Ingeomega, cumplir con los objetivos de su misión ambiental.

## **Impacto Económico**

La empresa prestadora del servicio de tala y poda se verá beneficiada, ya que es un proyecto económicamente factible, pues de acuerdo con los valores de los indicadores económicos que se evaluaron, es un proyecto que genera ganancias. Además, con este nuevo proyecto, la empresa puede tener un incremento en la demanda de servicios; y por ende, más generación de empleo e ingresos económicos. Por otra parte, la empresa se evitará costos adicionales por el pago a terceros en la disposición de residuos vegetales, donde finalmente, se puede ofrecer una solución a una problemática que lleva un tiempo considerable en las instalaciones de universidad Jaime Isaza Cadavid.

## **Recomendaciones**

Realizar un proceso de separación de los residuos vegetales antes de llevar a cabo el proceso de compostaje.

Es importante realizar un estudio para identificar la presencia de microorganismos fitopatógenos en el compostaje.

Se debe realizar capacitaciones al personal de poda sobre el proceso del compostaje, para mejorar los procesos técnicos en la elaboración del mismo.

## Conclusiones

La implementación de la propuesta técnica para la producción de compostaje contribuirá a mitigar el impacto ambiental generado por la tala y poda de especies forestales en el área metropolitana. Es indispensable monitorear cada una de las fases del compostaje, identificando parámetros como la humedad, el pH, la temperatura y el oxígeno, y realizando los volteos periódicos necesarios para garantizar un buen compost.

La revisión exhaustiva de cada una de las referencias bibliográficas nos permitió identificar en detalle todos los aspectos teóricos y técnicos necesarios para la producción de compost y para tener en cuenta cada uno de los pormenores que se requieren para desarrollar el proyecto.

Los impactos económicos, ambientales y sociales de implementar la propuesta son muy notables, ya que influirán en la generación de más empleo y en un mejoramiento de la calidad de vida para las familias de los empleados. A su vez, se disminuirá la cantidad de residuos vegetales y se incrementarán las ganancias para la empresa de silvicultura.

El análisis de la factibilidad financiera nos presentó una tasa interna de retorno (TIR) del 208%, una relación beneficio/costo 5,13 y un VPN \$ 2.610.347.337. Estos valores indican que es un proyecto rentable para la empresa de mantenimiento de poda y tala; pues las ganancias que se derivan por la necesidad del compost para actividades de paisajismo, mantenimiento de jardines y propagación de material vegetal en la ciudad; superan su costo de producción.

## Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Hábitat. (2024). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. UAESP. [https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf).
- Aristizábal, B. H., Vanegas, E., Mariscal, J. P., & Camargo, M. A. (2015). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, (46), 29-36.
- Bohórquez, S., W. (2019). *El proceso de compostaje*. Ediciones Unisalle.
- Docampo, R. (2013, diciembre). Compostaje y compost. *Compostaje y Compost*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>.
- Google Earth. (2024). Zona Politécnico Jaime Isaza Cadavid [Map]. Recuperado de <https://earth.google.com>.
- Grand, A. (2020). Compost: Ventajas y desventajas. Best4Soil. <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/es/7.pdf>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Plan Nacional de Negocios Verdes. Presidencia de la República de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/11/Actualizacion-Plan-Nacional-Negocios-verdes-2022-2030-VF2-2.pdf>.
- Mete, M., R. (2014, marzo). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio*, 2(1), 45-60. <https://doi.org/10.1234/fides.2014.081X>.
- Moreno, C. J., & Moral, H., R. (Eds.). (2008). *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Parra, S, R. H., Saenz, R, O. A., & Pulgarin, D. J., A. (2010). *Guía para el manejo de los productos de tala, poda y rocería*. Área Metropolitana del Valle del Aburra.
- Ramirez, M. C., Garcia, B, M., & Pantoja, A, C. R. (2010). *Fundamentos y técnicas de costos*.
- Ramos, R, J. M., Bermúdez, A., & Rojas, T. (2017, noviembre 29). Contaminación odorífera: causas, efectos y posibles soluciones a una contaminación invisible. *Revista Agraria y Ambiental*.
- Restrepo, L, J. C., Restrepo, S, J., Isaza, A, J., Arango, P, A. M., & Hurtado, H, J. (2010). *Estado del conocimiento de la fauna silvestre en la jurisdicción de Corantioquia*. Corantioquia.
- Román, P. (2022). *Manual de Compostaje Del Agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO.
- Rubiano, J. (2000). *Sistemas Agroforestales*. Bogota, DC.
- Salinas, M. A. R., de Medio Ambiente y Recursos Naturales, M. S., & Instituto Nacional de Ecología (México). (2006). *Manual de compostaje municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Instituto Nacional de Ecología.
- SAU Sistema Árbol Urbano . (s/f). Gobernador.co <https://www.medellin.gov.co/sau/>

Spedding, D. J. (1981). Contaminación atmosférica. Reverté.

Tovar, C. G., (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. Territorios, (16-17), 149-173.

Trimble Inc. (2024). Medidas de pilas de compostaje abierto [Modelo de SketchUp]. Recuperado <https://www.sketchup.com/es>