

Propuesta de mejora para el manejo de residuos (material vegetal) sólidos en el proceso de poscosecha Flores Isabelita

A. Ruiz Montoya y J. Dávila Monsalve

Ingeniería Industrial

Universidad Católica de Oriente Cr. 46 No. 40B 50, Rionegro, CP 054040, Colombia.

Resumen

En la actualidad, existe una tendencia empresarial que lleva a las organizaciones a realizar sus actividades económicas de forma amigable con el ambiente, atendiendo al buen manejo de los recursos y residuos que resultan después del proceso de producción. En los cultivos de flores, abundan los residuos naturales que pueden ser reutilizados para crear abono o energías renovables. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo proponer mejoras para el manejo de residuos en el proceso de poscosecha la empresa Flores Isabelita, por medio de la observación y análisis de la forma como la empresa procesa los residuos en la poscosecha., realizando una varianza o ANOVA, como forma de análisis de las mismas varianzas; un DOFA, para conocer debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de los métodos que se sugirieron; y un análisis financiero, que incluye un flujo de caja, la TIR, el VAN y la relación costo beneficio de la compostación y torrefacción, concluyendo que, esta última, es la más adecuada para su implementación en Flores Isabelita, ya que se reduce la mano de obra, la ocupación del terreno, el riesgo de la inversión, y aumenta el beneficio económico.

Palabras claves: Residuos vegetales, material sólido, poscosecha, biomasa.

Abstract

Currently, there is a business trend that leads organizations to carry out their economic activities in an environmentally friendly way, attending to the good management of resources and waste that result after the production process. In flower crops, natural residues abound that can be reused to create compost or renewable energy. For this reason, the present work aims to propose improvements for the waste management in the post-harvest process of the

company Flores Isabelita, by means of the observation and analysis of the way in which the company processes the waste in the post-harvest, carrying out a variance or ANOVA, as a form of analysis of the same variances; a SWOT, to know weaknesses, opportunities, strengths and threats of the methods that were suggested; and a financial analysis, which includes a cash flow, IRR, NPV and the cost-benefit relationship of composting and roasting, concluding that the latter is the most appropriate for its implementation in Flores Isabelita, since the labor, land occupation, investment risk, and economic benefit increases.

Keywords: Vegetable residues, solid material, post-harvest, biomass.

1. Introducción

La producción de la flor en Colombia se ha convertido en uno de los mayores generadores de trabajo puesto que, por cada hectárea cultivada, se generan 17 empleos, llegando a más de 140.000 empleos directos e indirectos y con un tejido empresarial de más de 400 empresas. (Colombia Trade, 2019)

Es así, como Colombia cuenta con más de 1.600 variedades de flores que llegan a más de 90 países en el mundo. El país es el primer exportador de claveles, segundo exportador de crisantemos y cuarto para rosas y lirios, además, en junio de 2018, Colombia se posicionó como el primer proveedor de claveles a Corea el Sur. (Ministerio de Agricultura, 2020)

Gráfico 1. Áreas sembradas en Colombia

Precisamente, en el país, hasta el año 2019, se encontraban sembradas 8.597 hectáreas de cultivos de flores, que llegaban a una producción mayor a 243.000 toneladas, para un total de rendimiento promedio de 28,3 toneladas por hectárea. (Ministerio de Agricultura, 2020)

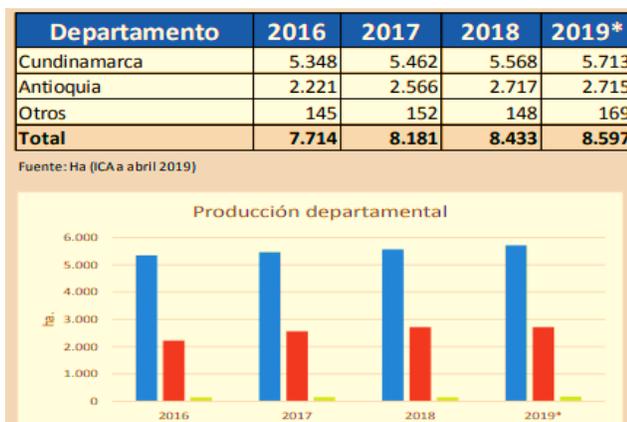
Área sembrada:				
2016: 7.714 Has	2017: 8.181 Has	2018: 8.433 Has	2019: 8.597 Has	
Producción:				
2016: 236.785 Has	2017: 246.118 Has	2018: 239.497 Has	2019: 243.548 Has	
Rendimiento Promedio:				
2016: 39,7 Ton/Ha	2017: 30,1 Ton/Ha	2018: 28,4 Ton/Ha	2019: 28,3 Ton/Ha	

Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2020)

En cuanto a los departamentos más productores, Cundinamarca y Antioquia se encuentran en los primeros lugares con 5.713 y 2.715 hectáreas sembradas, respectivamente, mientras que la suma de los otros departamentos solamente es de 169 hectáreas de la producción nacional.

Gráfico 2. Producción departamental

Sobre las actividades realizadas en la producción de flores, se debe tener en cuenta que los sistemas para cosechar y comercializar las flores de corte varían con la especie floral, el productor, la zona productora y el sistema de comercialización. Todos estos factores incluyen una serie de pasos: cosecha, clasificación, elaboración de ramos, postura de capuchón, empaque, pre – enfriamiento y transporte. (Reid, 2009)



Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2020)

Esta última, se realiza normalmente a mano, usando tijeras o un cuchillo afilado o utilizando ayudas mecánicas, según el tipo de flor. Nunca se deben colocar las flores cosechadas sobre el suelo, debido al riesgo de contaminación con organismos nocivos. Idealmente, la cosecha, la clasificación y el empaque deben hacerse en seco, es decir, sin usar soluciones químicas o agua. Si ello no es posible, deben usarse baldes limpios con agua limpia y un biocida. Cuando el agua es dura o se trabaja con flores difíciles de hidratar, es recomendable usar agua limpia que contenga un biocida y suficiente ácido cítrico para reducir el pH a menos de 5.0. (Reid, 2009)

En cuanto la poscosecha, de esta depende una buena calidad en las flores cortadas de exportación, por medio de tecnologías óptimas que el productor y transportador pueden desarrollar e implementar. La madurez mínima de corte para una flor es el estado de desarrollo en el cual los botones pueden abrir completamente y desplegar una vida en florero satisfactoria. Muchas flores responden bien al ser cortadas en el estadio de botón, abriendo después del proceso de almacenamiento, transporte y distribución. Esta técnica presenta muchas ventajas incluyendo un período reducido de crecimiento para cultivos de una sola

cosecha, mayor densidad de empaque, manejo simplificado de la temperatura, menor susceptibilidad al daño mecánico, menor desecación y generación de residuos. (Reid, 2009)

Teniendo en cuenta los cultivos del Oriente Antioqueño, se encuentra Flores Isabelita, la cual está ubicada en el Kilómetro 5 de la vía La Ceja – Rionegro (Imagen 1). Es una compañía dedicada a la producción y comercialización de bouquets de flores y ornamentales con los más altos estándares de calidad, con destino al mercado de Estados Unidos. La empresa, en la actualidad, maneja más de 300 variedades de flor provenientes de cultivos en el oriente de Antioquia y en la Sabana de Bogotá. (*Falcon Bouquets, s.f.*)

Imagen 1. Ubicación Flores Isabelita



Fuente: (Google Maps, 2020)

Entre las variedades de flores Isabelita que más procesa, se encuentran la rosa, que tiene, como cualidades deseadas para corte, según el mercado en cada momento, un tallo largo y rígido, follaje verde brillante, flores de apertura lenta, buena floración, resistencia a las enfermedades, cultivos a bajas temperaturas y cultivar sin suelo. (Infoagro, s.f.)

Por el lado el crisantemo, es una flor que, una vez cosechada, se almacena por dos semanas, realizando el empaquetado con mangas de plástico. Y, por último, está el clavel, de las más importantes en el comercio mundial, por su fácil y rápida multiplicación, por lo que, según las tendencias del mercado, plantean un nuevo reto, que es la reconversión del producto. Las técnicas de postcosecha que se emplean en claveles son: Técnicas de conservación, tratamientos químicos, antimicrobianos, antitranspirantes e inhibidores de la producción hormonal (Ag+). En la Tabla 1, se aprecian las variedades de flores que maneja Isabelita. (Infoagro, s.f.)

Tabla 1. Variedades de flores en Isabelita

ROSA	CRISANTEMO	CLAVEL
		
ASTROMELIA	LIRIO	MATSUMOTO
		

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los residuos orgánicos, se encuentran: restos de residuos vegetales, pasto, hojarasca, residuos de cosechas, aserrines, madera, y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en compost. (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

En esta empresa, se generan altas cantidades de residuo durante la producción, y, a pesar de presentarse alternativas como el compostaje, se quiere investigar si existe otra opción más óptima y de mayor aprovechamiento, pues este es un proceso lento, porque el tallo de flor, a diferencia de la hoja, no tiene una relación Nitrógeno – Carbono apta para la transformación microbiana, lo que conlleva a su poco crecimiento.

Por otro lado, el tallo tiene más carbono que nitrógeno y al ser cortada de la flor, la parte verde se transforma en lignina, que tiene, aún, más contenido de carbono, generando enlaces fuertes, lo que convierte al tallo en una coloración café y de mayor rigidez; por esto, la lentitud en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos procedentes de los residuos vegetales de flores. (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

En cuanto a una disposición final en rellenos sanitarios se debe tener en cuenta, que los residuos generados en los cultivos de flores no se pueden llevar a estos sitios, porque genera impactos como disminuir la vida útil del relleno y aumentar la contaminación. Por el lado de métodos como la reducción, solo es factible según la forma y las capacidades técnicas que se empleen como capacitar a los colaboradores en el adecuado corte, mejorar el tiempo de cosecha o una maquinaria bien calibrada.

Se han conocido ejemplos de utilización de los residuos vegetales que pueden servir de ejemplo sobre el manejo de residuos para la empresa Flores Isabelita. Es el caso de Inglaterra, donde los residuos de jardín aplicando una recolección selectiva en el sistema de aseo y dándole un tratamiento de compostaje, se obtiene compost, utilizado como sustituto de fertilizante en jardines, parques, granjas o quemado del biogás o energía renovable. (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria Ambiental, 2017)

En cuanto a Estados Unidos, el tipo de residuo es de corte de césped y poda de árboles, realizando una recolección de ruta selectiva, con más de 34 millones de toneladas recogidas ¿En qué lapso de tiempo?, utilizando un tratamiento de compostaje y obteniendo junto con el compost carbón vegetal o material picado (aserrín) sirviendo como abono orgánico, alimentos y carboneras.

Por los lados de Colombia, en Bogotá, los residuos provienen del corte de césped y poda de árboles, donde se obtiene compost, por medio del compostaje en pilas, utilizado, como proyecto piloto, para el consumo interno en el relleno sanitario de Doña Juana. En Medellín, se produce el mismo tipo de residuos que en la capital, con un corte cada 30 días y más de 235 toneladas al mes, los cuales, por medio del compostaje, producen compost, carbón vegetal y aserrín. (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria Ambiental, 2017)

Las razones por las cuales se enuncian estos procesos con los residuos vegetales para esta empresa, provienen del problema detectado en el proceso de poscosecha y producción de bouquets, pues el volumen de residuos de material vegetal que se generan a partir de esta actividad, no cuentan con un proceso interno definido para el manejo del mismo, demostrando la necesidad de generar una estrategia que permita el aprovechamiento y la mejora en el manejo de estos residuos.

Teniendo conocimientos del aprovechamiento en el manejo de residuos y sobre la problemática presentada en flores Isabelita, se justifica la posibilidad de encontrar una nueva alternativa que se diferencie del proceso de compostaje de todos los residuos mezclados que lo mejoren y optimicen, en cuanto a tiempo y rendimiento de materiales. La, biodigestión, para obtener gas; torrefacción, para el biocarbono; compostaje, para bioabono, son los procesos mas reconocidos en el medio, siendo los dos últimos asumidos dentro del análisis del presente estudio.

La realización del presente proyecto, es importante para evitar la eliminación del residuo en lugares no aptos, teniendo en cuenta que estos se pueden y se deben aprovechar, pues carecen de condiciones desfavorables, como inmadurez, toxicidad o condiciones químicas deteriorables; a la vez, no representan un peligro para la salud humana o para el medio ambiente. Sin embargo, por el volumen, que va en aumento, sí simbolizan un tema con un buen grado de dificultad, lo que se convierte en un problema, en caso que no existan elementos para su aprovechamiento, como es el caso de la torrefacción, que permite obtener biocarbono y el compostaje para el bioabono; y el compostaje, utilizado como sustituto de fertilizante en jardines, parques, granjas o quemado del biogás o energía renovable.

Por esta razón, el objetivo de este trabajo de investigación, es proponer una mejora para el manejo de los residuos sólidos (material vegetal) sólidos, en el proceso de poscosecha de Flores Isabelita, por lo que se indaga la mejor manera de resolver la problemática a partir de la pregunta sobre ¿Cómo proponer una mejora para el manejo de los residuos (material vegetal) sólidos en el proceso de poscosecha en la empresa? Esto conlleva a elaborar un objeto de estudio principal que permita elaborar la propuesta, con el fin de gestionar los residuos sólidos de poscosecha. Para ello, se caracterizaron los residuos vegetales producidos, se determinaron las técnicas más apropiadas para tratarlos y, finalmente, se elaboró una propuesta técnica que mejorará el manejo de estos.

2. Métodos de investigación

El propósito del estudio, desde el punto de vista descriptivo, como lo menciona Méndez (2011), fue delimitar los hechos que conforman el problema de investigación, permitiendo establecer características demográficas. En este caso, se distinguieron los

atributos particulares de los residuos vegetales sólidos que se producen en poscosecha en la empresa Flores Isabelita, permitiendo caracterizar los residuos que se producen. (Méndez Alvarez, 2011)

Para Méndez (2011), observar, es advertir los hechos como se presentan de una manera espontánea y consignarlos por escrito. Para este fin, se elaboró una lista de chequeo, donde el equipo investigador pudo plasmar lo observado en la realidad actual de la empresa. (Méndez Alvarez, 2011)

Méndez (2011), identifica el análisis como un proceso que permite al investigador conocer la realidad, y se obtiene a partir de la identificación de las partes que lo conforman. Para el desarrollo de la investigación, se trabajaron tres momentos: inicialmente, la caracterización, donde se distinguieron los atributos particulares de los residuos vegetales que se producen en la poscosecha; posteriormente, se determinaron las técnicas actuales con diferentes modelos de transformación de estos residuos; y, por último, se elaboraron una propuesta técnica aplicable a la empresa.

Para la obtención de información, se establecieron las fuentes primarias y secundarias, permitiendo a los investigadores consolidar una base de información real para la construcción del posterior análisis. Como fuentes primarias, se tuvieron las listas de chequeo, toma de fotografías en el área de poscosecha y matriz de tratamiento de residuos.

Como fuentes secundarias, se contó con información sobre el manejo de residuos a nivel global, además de casos exitosos como modelo para la construcción de la propuesta. Las principales fuentes secundarias a abordar, fueron: Técnicas para los residuos vegetales, países pioneros en la transformación de materia prima vegetal y procesos de transformación de la materia prima vegetal.

Es así, como para lograr los objetivos, se utilizaron actividades y métodos como una entrevista semiestructurada al señor Jorge Andrés Orozco, encargado del área, además de la toma de fotografías, como evidencia del proceso. Para determinar la técnica más adecuada para tratar los residuos vegetales se realizó una matriz DOFA, un análisis de varianza (ANOVA), la metodología 6M y un análisis financiero, resultado que posteriormente

permitió diseñar una propuesta de ficha técnica con los parámetros y características del método elegido.

En el análisis de la varianza o ANOVA, permite comparar las varianzas entre el promedio de diferentes elementos, determinando si existe diferencia entre las medias de estos (Amat Rodrigo, 2016). En cuanto a la matriz DOFA, donde se analizan las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, de los dos métodos sugeridos para el manejo de los residuos sólidos, de material vegetal, en el proceso de poscosecha de Flores Isabelita. Por último, se realiza un análisis financiero de las técnicas de compostación y torrefacción, que incluyen un resumen de flujos de caja, la TIR y el VAN y la relación costo beneficio, de cada una de estas.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterizar los residuos vegetales que se producen en la poscosecha

La caracterización de los residuos vegetales generados tanto en empresas como en los cultivos, permite determinar si existe la posibilidad de hacer un uso industrial para la producción de biocombustibles, y cuál puede ser la mejor forma de hacerlo. En el caso de flores Isabelita, esta caracterización incluye las variedades de las rosas, los crisantemos, los claveles, las astromelias, los lirios, los matsumotos, sus tallos, hojas y cabezas de flor, además con los datos de las cantidades generadas, los cuales pueden ser manejados con procesos como la torrefacción, que permite obtener biocarbono y el compostaje para el bioabono.

Para caracterizar los residuos vegetales que se producen en poscosecha en la empresa flores Isabelita, el señor Jorge Andrés Orozco, encargado del área, explica que el tipo de material producido en la empresa, son tallos, follajes y cabezas de flor. A la vez, el aliado estratégico es una finca productora de flor del grupo Falcon, que recolecta los residuos vegetales convirtiéndolos en compostera y posteriormente en abono, dándoles un manejo ordenado y aseado según los programas de reciclaje de entidades certificadas para reutilizar y aprovechar tales residuos.

Por el lado de las prácticas ambientales utilizadas, la empresa cuenta con un Centro de Acopio de Material Vegetal donde se almacena en practivagones temporalmente para ser

enviado a la compostera de Flores La Virginia, trabajo realizado por personal capacitado en el manejo de estos residuos. La cantidad de material vegetal producido es considerable, pues cada tallo genera un residuo. Por último, en flores Isabelita no se cuenta con un plan de mejora, pero sí existe la idea de implementar un sistema para almacenar los residuos vegetales en una canaleta en el piso y desplazarlos por agua hasta un lugar con una malla extrayendo los residuos vegetales para su disposición final.

- Descripción del proceso productivo en Flores Isabelita

Imagen 2. Área de alistamiento de flor de Flores Isabelita



Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 2, se tiene el área de preparación de los tallos donde se encuentra una máquina defoliadora que retira la primera parte de follaje y longitud de los tallos. En este proceso, se clasifican cuáles tallos son aptos para pasar a la producción, y cuáles serán desechados o retornados al cuarto frío.

Imagen 3. Área de producción celular de Flores Isabelita



Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 3, se puede observar el modelo de producción celular que cuenta con ocho líneas de producción. En cada línea hay once armadores, cada uno ubicado frente a una mesa sobre la cual distribuye las variedades de la flor que hacen parte del ramo. El armador, usa la técnica del cruzado de tallos para armar el bouquet al que, posteriormente, se le empareja tallos con una guillotina generando gran parte de residuos de material vegetal.

Imagen 4. Área de producción en máquina de Flores Isabelita



Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 4, se evidencia la parte final del área de producción en máquina. Este proceso cuenta con cinco líneas de producción; en cada una de ellas hay ocho armadores cada uno ubicado frente a una mesa, sobre la cual se distribuyen las variedades de la flor que hacen parte del ramo. El armador, usa la técnica del cruzado de tallos para armar el bouquet; luego de esto deposita el bouquet en una banda transportadora que lleva los ramos hacia una máquina cortadora que empareja los tallos; estos residuos los envía la máquina directamente a un practivagón.

Imagen 5. Centro de acopio de material vegetal de Flores Isabelita



Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 5, se muestra un espacio de disposición final de los residuos de material vegetal de flores isabelita, a este lugar ingresan los desechos vegetales resultantes del área de producción, calidad, cuarto frío, tinturados y también de los bouquets que son dados de baja por cancelaciones de despacho o rotación, este sitio es de área reducida, pues solo tiene capacidad para almacenar ocho practivagones y tiende a colapsar en las primeras cuatro horas de producción a espera del camión de recolección.

Imagen 6. Recolección de material vegetal de Flores Isabelita



Fuente: Elaboración propia.

En la Imagen 6, se observa la forma de despacho del material vegetal hacia su destino final, la cantidad de despachos de residuos diarios varía de acuerdo con las temporadas y valles de producción de bouquets que vive la empresa flores isabelita durante el transcurso del año, es común que en tiempo frío se realice un despacho al día mientras que en las temporadas altas se realizan 3 despachos diarios.

- Análisis de la entrevista

La empresa flores Isabelita, posee un socio estratégico para la disposición de residuos, lo que permite darles un buen manejo cumpliendo con la normatividad ambiental, buscando reutilizar y aprovechar estos residuos vegetales. Sin embargo, es importante la implementación de un plan de mejora, que le permita a la empresa su manejo directo hasta la disposición final.

De acuerdo con la descripción del proceso y con los resultados del análisis de la entrevista realizada en la empresa de Flores Isabelita, se pudo crear un inventario con las cantidades de material vegetal en desperdicio, el cual también se valore en términos monetarios (USD), como se observa en la Tabla 3.

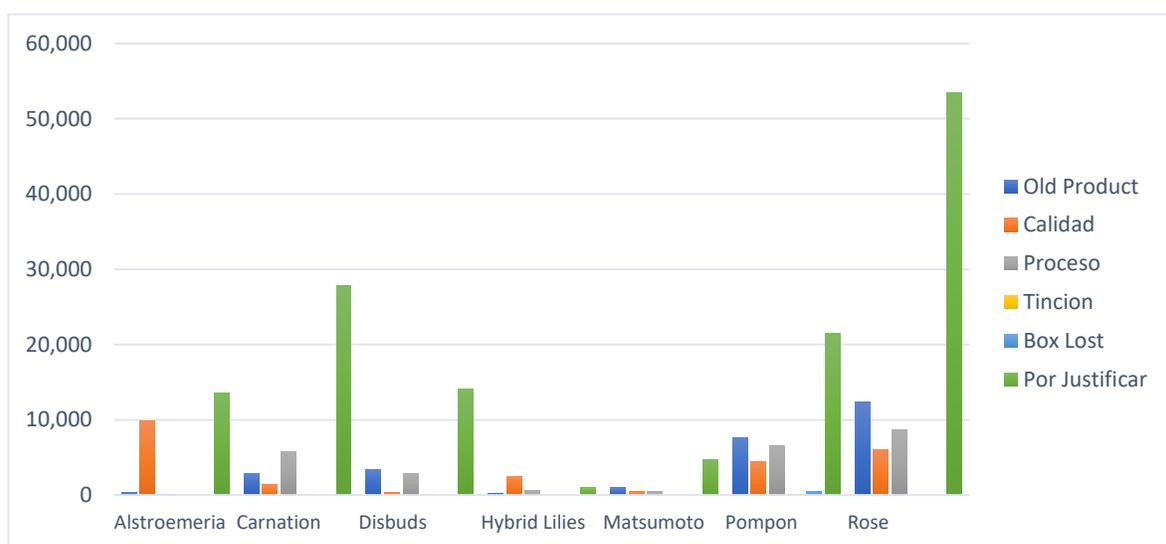
Tabla 2. Desperdicio según las variedades de flores en número de tallos

Grupo	Necesidad	Salida Inventario	Desperdicio	Old Product	Calidad	Proceso	Tincion	Box Lost	Por Justificar
Alstroemeria	640.327	664.300	23.973	400	9.878	99	0	0	13.596
Carnation	576.882	614.835	37.953	2.890	1.363	5.784	32	0	27.884
Disbuds	409.855	430.735	20.880	3.395	405	2.907	56	0	14.117
Hybrid Lilies	215.402	219.630	4.228	173	2.519	562	0	0	974
Matsumoto	76.852	83.490	6.638	1.000	430	467	0	0	4.741
Pompon	2.470.501	2.511.130	40.629	7.600	4.442	6.561	98	500	21.428
Rose	1.300.998	1.381.641	80.643	12.365	6.032	8.725	0	0	53.521

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4, se llevó a cabo en la semana 17 de 2021, con el fin de caracterizar los residuos vegetales que se producen en la empresa, relacionando las causas por las que se genera desperdicio de cada variedad de flor en número de tallos.

Gráfico 3. Desperdicios según las variedades de flores en tallos



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al Gráfico 4, se determinan las causas de desperdicio de cada variedad de flor procesada en flores Isabelita, mostrando que la rosa es la flor que representa mayor índice de pérdida con 53.521 tallos de rosa. La importancia de conocer, tanto la cantidad que se pierde de producto radica en que la empresa es consciente de la necesidad de dar un mejor manejo a estos residuos, que llevarán a economizar en otros procesos y a la vez ser utilizados como otra fuente de ingresos.

3.2. Determinar la técnica más apropiada para el tratamiento de los residuos vegetales

Luego de establecer las cantidades, volúmenes y tipologías de residuos de flores que se generan en la empresa Flores Isabelita S.A.S., se procede a determinar cuál sería la mejor herramienta para su tratamiento y aprovechamiento. Desde la introducción, se establecen las técnicas más adecuadas que, si bien pueden no ser las más apropiadas acorde a evaluaciones, son las más conocidas por el equipo de investigación.

Es importante conocer, que el compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. (Román, 2013)

Este producto se elabora teniendo en cuenta la temperatura. En una fase Mesófila (Temperaturas Ambiente) el material de partida comienza el proceso de compostaje y en pocos días u horas, esta aumenta hasta los 45°C, debido a la actividad microbiana, donde los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles produce ácidos orgánicos, disminuyendo el pH hasta cerca de 4.0 o 4.5. La fase dura entre dos y ocho días. Luego en la fase Termófila (Alrededor de 45°C), los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias, o microorganismos mesófilos, se reemplazan por los que crecen a mayores temperaturas o bacterias termófilas, facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como celulosa y lignina. (Román, 2013)

Estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, aumentando el pH del medio. En la fase de Enfriamiento o Mesófila II, la temperatura desciende hasta 40 – 45°C, continuando con la degradación de polímeros como la celulosa, y la aparición de hongos visibles a simple vista. Los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende, aunque se mantiene alcalino. Esta fase dura varias semanas, confundiendo con la fase de maduración, finalmente en la fase de Maduración (alrededor de tres meses a temperatura ambiente), se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Román, 2013)

Los materiales necesarios para este proceso son los restos de cosecha de flor, virutas de aserrín (en capas finas) y tierra negra. Las herramientas recomendadas, son horqueta y/o pala, para agregar material, voltear y sacar el compost terminado, regadera, manguera o aspersor, para mantener una correcta humedad en el material en compostaje, termómetro, vara metálica o palo de madera, para la medición de temperaturas del material en compostaje, tamiz, para el cernido del material al finalizar el proceso de compostaje y separar elementos gruesos que aún no se han descompuesto, papel de pH (opcional), para el control de la acidez durante el proceso y otros utensilios que ayudan en la labor, aunque no son imprescindibles, como los rastrillos, carretillas, aireadores manuales, entre otros. (Román, 2013)

Por el lado de la torrefacción, hace referencia a la descomposición térmica que sufre la biomasa a temperaturas de 200°C a 300°C, a presión atmosférica y en ausencia de agentes oxidantes, eliminando el agua y los productos orgánicos volátiles, y acortando las largas cadenas de polisacáridos. También es conocida como tostado o pirólisis moderada. El resultado es un producto con mejores propiedades como combustible sólido: mayor poder calorífico, más hidrófobo, menos resistente a la molienda y sin desarrollo de actividad bacteriana que puede deteriorar el combustible. (Trasobares Sánchez, 2011).

Las etapas de la torrefacción son: el calentamiento o Pre – secado, que ocurre cuando la biomasa se calienta, desde la temperatura ambiente, hasta 100°C; secado, especialmente para biomásas con contenido de agua superior al 40%, el cual se da a temperatura constante, hasta que la humedad superficial se remueve completamente, posteriormente la humedad intra – partícula comienza a eliminarse hasta alcanzar un valor crítico; el post – secado, donde la biomasa se calienta hasta la temperatura de torrefacción, de 200°C – 300°C, y la humedad físicamente enlazada y algunos compuestos orgánicos ligeros, se separan de la biomasa. La necesidad de calor es relativamente pequeña, pues solamente se necesita proveer calor sensible al sólido. (Trasobares Sánchez, 2011)

También se encuentran las etapas de la torrefacción, que es la despolimerización de la biomasa. El requerimiento energético de la torrefacción es bajo, donde el consumo de calor es inferior a las etapas de secado, y, por último, el enfriamiento, donde la biomasa abandona el reactor a la temperatura de torrefacción, que por lo general supera su temperatura de ignición, y a menos que se enfríe el sólido, podría combustionar espontáneamente al ponerse

en contacto con el aire. El enfriamiento se puede hacer con aire o con agua. (Trasobares Sánchez, 2011)

En cuanto a los equipos necesarios para la torrefacción, estos se componen de secadero, horno, torrefactor, intercambiador de calor, molino y unidad de recuperación de la caída de presión.

Precisamente, para establecer cuál sería la técnica más adecuada para el tratamiento y aprovechamiento de residuos vegetales en Flores Isabelita se realiza en la Tabla 5, un análisis DOFA:

Tabla 3. Análisis DOFA sobre torrefacción y compostación de residuos vegetales

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<p>Torrefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ha sido adoptada lentamente - El transporte y almacenamiento del material es difícil <p>Compostación</p> <ul style="list-style-type: none"> - La temperatura y la humedad deben ser adecuados - Ocupación del terreno para las distintas instalaciones de recepción, tratamiento y almacenaje 	<p>Torrefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menor degradación biológica en el almacenamiento - Incrementa el contenido de energía/carbono <p>Compostación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las basuras - Reducción de abonos químicos - Menos emisión de gases de efecto invernadero
FORTALEZAS	AMENAZAS
<p>Torrefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produce combustible renovable sólido para el futuro - Aplica a calefacción de mediana escala - El producto obtenido es más sencillo de triturar <p>Compostación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de los residuos - No hay gasto de mantenimiento de la compostadora - No es tóxico - Mejora la tierra para el cultivo 	<p>Torrefacción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los avances sobre su uso son lentos - Dificultades ambientales para su almacenamiento <p>Compostación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Genera sustancias fitotóxicas - Generación de malos olores - Desprendimiento de dióxido de carbono

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con esta DOFA, realizado con estas técnicas para el tratamiento de residuos vegetales: torrefacción y compostación, demuestra que las fortalezas de cada una permiten producir por el lado de la torrefacción combustible renovable, por lo que se espera

un manejo sostenible en el tiempo. De igual forma, se aplica a calefacción de mediana escala y el producto obtenido es más sencillo de triturar.

La compostación permite reducir los residuos, que es uno de los principales objetivos de cualquier proceso para ser más amigable con el medio ambiente. También, el gasto de mantenimiento de la compostadora es reducido o nulo, lo que beneficia financieramente a la empresa. Tampoco existe toxicidad, lo que permite salvaguardar la salud de los colaboradores y, por último, mejora la tierra para el cultivo.

Estos análisis, recaen en la verificación de las cantidades, que permitan a los dos sistemas cumplir con la masa posible a tratar. Por esta razón, es necesario evidenciar si los promedios de desperdicios en las semanas pico durante los años 2018, 2019 y 2020 (años de datos disponibles en la empresa), son equilibrados en cuanto a la cantidad disponible de tratar, para que los procesos se estandaricen de una manera más apropiada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se decide realizar un Análisis de la Varianza que permita comprobar estos promedios de masa de forma que se estime, bajo hipótesis, tanto en los meses pico, como en los meses valle (Pico significa, aumento de demanda de producción, y, por ende, valle será lo contrario).

Tabla 4. Análisis de varianza de un factor meses pico

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Desperdicio 2018	17	2412068	141886,3529	20726340740,37
Desperdicio 2019	17	1397889	82228,7647	550300067,94
Desperdicio 2020	17	1275756	75044,4706	3820511836,26

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	45778048530,863	2	22889024265	2,736050331	0,074943815	3,190727336
Dentro de los grupos	401554442313,176	48	8365717548			
Total	447332490844,039	50				

Fuente: Elaboración propia.

H0: Los promedios de desperdicios en las semanas pico durante los años 2018, 2019 y 2020 son semejantes: se acepta la hipótesis porque los valores de F son menores a los valores críticos de F, además el valor de alfa es menor a la probabilidad lo que corrobora esta hipótesis.

H1: Al menos 1 de los promedios de desperdicios de los años 2018, 2019 y 2020 son distintos.

Tabla 5. Análisis de varianza de un factor meses valle

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Desperdicio 2018	34	1641999	48294,08824	1696658316
Desperdicio 2019	34	1898654	55842,76471	618561503,3
Desperdicio 2020	34	1317104	38738,35294	1096370367

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4996362279,90	2	2498181140	2,19678889	0,116549584	3,088239626
Dentro de los grupos	112582476148,62	99	1137196729			
Total	117578838428,52	101				

Fuente: Elaboración propia.

H0: Los promedios de desperdicios en las semanas valle durante los años 2018, 2019 y 2020 son semejantes: se acepta la hipótesis porque los valores de F son menores a los valores críticos de F, además el valor de alfa es menor a la probabilidad lo que corrobora esta hipótesis.

H1: Al menos 1 de los promedios de desperdicios de los años 2018, 2019 y 2020 son distintos.

Según ambas ANOVA, se puede inferir tanto en los meses pico como en los meses valle la generación de residuos es constante, esto quiere decir que el volumen de material vegetal es fluido y permite realizar las dos técnicas analizadas.

Debido a esto, se decide realizar un análisis económico y financiero de las técnicas de compostación y torrefacción para poder determinar cuál sería la mejor herramienta para el tratamiento y aprovechamiento del material vegetal generado por flores Isabelita, en las Tablas 8, 9 y 10, se puede apreciar el resumen del flujo de caja de la torrefacción y posteriormente se encuentra en las Tablas 11,12 y 13 el resumen de flujo de caja de la compostación.

Tabla 6. Resumen de flujos de caja torrefacción

Flujo de caja Torrefacción						
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Saldo Inicial	\$ 314.114.646	-\$ 309.565.268	\$ 519.581	\$ 535.299	\$ 551.938	\$ 569.550
Ingresos	\$ 64.192.538	\$ 130.934.471	\$ 134.895.438	\$ 139.088.308	\$ 143.526.708	\$ 150.703.043
Egresos	\$ 370.955.751	\$ 102.539.077	\$ 64.740.046	\$ 68.296.665	\$ 81.692.103	\$ 127.625.944
F.C Económico	-\$ 309.565.268	\$ 519.581	\$ 535.299	\$ 551.938	\$ 569.550	\$ 794.693
F.C Financiero	-\$ 309.565.268	\$ 519.581	\$ 535.299	\$ 551.938	\$ 569.550	\$ 794.693

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis del flujo de caja de la torrefacción, se aprecia que, el saldo del Año 1 es negativo, con \$309.565.268, teniendo, a partir del Año 2 hasta el Año 6, saldos que van en aumento, desde 519.581, hasta llegar 794.693.

Tabla 7. TIR y VAN de la torrefacción

TIR		-2%
Tasa de interes		5%
Saldo inicial	\$	314.114.646
VAN	-\$	606.716.965,46

Fuente: Elaboración propia.

La TIR se aprecia que es del -2%, lo que representa una pérdida del capital que se invierte. Aunque el porcentaje es bajo, es importante entender que cuando se tienen procesos de tratamiento de residuos, tratamiento de agua o tratamiento de gases, siempre la TIR y el VAN dan negativos, puesto que estos procesos no generan productos de alto valor agregado. Es por ello que esta alternativa se puede considerar viable entendiendo las dinámicas en los procesos de tratamiento de residuo, sin embargo, la empresa podría buscar alternativas económicas que, por su viabilidad, permita implementarlo en caso de presentarse un interés para su desarrollo.

En cuanto al VAN, que analiza la rentabilidad del proyecto, se observa que está por debajo de 0, es decir, no satisface la tasa de interés necesaria para generar ganancias.

Tabla 8. Relación costo beneficio torrefacción

Sumatoria Ingresos	\$ 571.574.545,67
Sumatoria costos	\$ 346.698.471,20
Sumatoria costos + inversión	\$ 352.266.778,57

B/C

1,62

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la relación costo beneficio (B/C), existe un pequeño margen de rentabilidad, ya que se encuentra en 1,62, algo que debe ser analizado junto con los otros indicadores.

Tabla 9. Resumen de flujos de caja compostación

Flujo de caja Compostación						
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Saldo Inicial	\$ 64.458.959	-\$ 56.729.837	\$ 518.602	\$ 542.032	\$ 566.858	\$ 593.163
Ingresos	\$ 93.709.466	\$ 130.687.615	\$ 136.592.127	\$ 142.848.289	\$ 149.477.069	\$ 156.500.686
Egresos	\$ 144.451.714	\$ 95.054.944	\$ 100.578.691	\$ 106.432.363	\$ 112.364.623	\$ 119.209.543
F.C Económico	-\$ 56.729.837	\$ 518.602	\$ 542.032	\$ 566.858	\$ 593.163	\$ 621.034
F.C Financiero	-\$ 56.729.837	\$ 518.602	\$ 542.032	\$ 566.858	\$ 593.163	\$ 621.034

Fuente: Elaboración propia

En el compostaje, el saldo negativo del Año 1 es de 56.729.837, con leves saldos en aumento a partir del Año 2, comenzando por 518.602, hasta llegar, al Año 6, a 621.034.

Tabla 10. TIR y VAN del compostaje

TIR		-22%
Tasa de interes		5%
Saldo inicial	\$	64.458.959
VAN	-\$	116.154.220,72

Fuente: Elaboración propia.

Por el lado de la TIR, existe demasiado riesgo de perder el capital invertido, con un 22% por debajo, por lo que, al tener claridad sobre la generación de pérdidas, si la empresa insiste en la implementación de este método, son muchos los factores a analizar y mejorar, para revertir hacia la viabilidad del proyecto. Sobre el VAN, la satisfacción de la tasa está por debajo, con un \$116.154.221, lo que indica que no existe un rendimiento o rentabilidad mínima aceptable para llevar a cabo el compostaje.

Tabla 11. Relación costo beneficio torrefacción

Sumatoria Ingresos	\$ 583.492.635,88
Sumatoria costos	\$ 430.781.425,99
Sumatoria costos + inversión	\$ 440.630.365,46

B/C

1,32

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la relación costo beneficio (B/C), este es muy bajo, pues, a pesar de estar por encima de 1, lo que indica rentabilidad, su relación es apenas de 1,32.

En el anterior análisis financiero se evidencia los flujos de caja de las técnicas de torrefacción y compostación durante 6 años, que muestran una tasa interna de retorno TIR de -2% y -22% respectivamente, hecho que señala el riesgo de perder el capital invertido, en lugar de devolverlo, y aunque este hecho resulta común en los análisis económicos y financieros de los procesos de tratamiento de residuos, se haya un contraste con el indicador de costo beneficio de ambas técnicas siendo más rentable la implementación de la torrefacción con 1,62 frente al 1,32 de la compostación.

Es así que para la determinación de la técnica más adecuada se elige el proceso de torrefacción debido a los resultados que arrojaron los diferentes análisis, en especial el financiero. Se puede decir que esta alternativa requiere de un instrumento o guía que permita su implementación en la empresa Flores Isabelita.

3.3. Elaborar una propuesta de guía técnica que mejore el manejo de residuos vegetales.

La presente propuesta tiene como objetivo iniciar una guía técnica para mejorar el manejo de los residuos orgánicos generados en la empresa Flores Isabelita mediante la implementación del proceso de torrefacción, esta propuesta contiene los insumos, equipos y mediciones que se deben tener en cuenta para poner en marcha el desarrollo de esta alternativa.

Por lo anterior se adiciona un anexo al presente documento donde se indica de una manera más amplia el inicio de propuesta de dicha guía técnica.

4. Conclusiones

Desde el punto de vista económico, la implementación de los procesos de compostaje y torrefacción no son viables a corto y mediano plazo. Sin embargo, los resultados planteados, no se alejan mucho de los parámetros necesarios para conocer la viabilidad o no de un proyecto, por lo que se espera que, a largo plazo, este conlleve grandes beneficios para la empresa, y en consecuencia generar otro tipo de ingresos, partiendo de los residuos que ella misma genera, de modo que la inversión, aunque en principio tendrá un alto costo, con el tiempo beneficiará la sostenibilidad de Flores Isabelita.

Por otro lado, es importante resaltar el impacto ecológico que trae la implementación de estos procesos en el cultivo. En un mercado global actual, el ingreso de productos y servicios a otros países depende, no solo de la calidad de los primeros, también de elementos que, aunque no hacen parte directa con el objeto social de las empresas, sí muestra el cumplimiento con lo que es conocido como Responsabilidad Social Empresarial.

Esto hace referencia, no solo a la inclusión laboral y la calidad, con la cual, los colaboradores desempeñan sus actividades, mejorando el nivel de vida de estos y su entorno. También, se refiere al tema ambiental, donde se le exige a las empresas el cumplimiento de estándares internacionales en el tema de respeto al medio ambiente, que incluye la forma responsable y amigable como se desarrolla la producción de bienes y servicios.

En el caso de Flores Isabelita, que genera una buena cantidad de residuos vegetales, dificultando su finalidad, es importante que cuente con un proceso que permita la reutilización de estos, no solo para el cumplimiento de normas internacionales, también como un respeto por la comunidad, que se verá beneficiada al disminuir factores contaminantes en el medio que los rodea, y a la vez, incentivando la implementación de este tipo de proyectos, en otras empresas de la región.

Si bien hay que elegir entre estas dos técnicas para mejorar el manejo del material vegetal en el proceso de poscosecha de Flores Isabelita, el equipo de investigación sugiere la técnica de torrefacción como la más adecuada debido a que, requiere menos mano de obra, menor ocupación del terreno para la recepción, tratamiento y almacenaje y financieramente existe menor riesgo de perder el capital invertido y un mejor puntaje de costo beneficio, por

lo que la empresa podría buscar alternativas económicas que por su beneficio permitan implementarlo, en caso de presentarse un interés para su desarrollo.

Referencias bibliográficas

Asocolflores. (2010). *Manual de buenas prácticas de poscosecha para flor de corte y follajes asociados*. Bogotá, D.C.

Cárdenas Poveda, L. y. (2011). Estudio de la agroindustria de las flores en Colombia y la creación de una empresa productora de flores. *Universidad de La Sabana*.

Corona Zúñiga, I. (2007). Biodigestores. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.

Giraldo González, L. y. (2016). Evaluación de la gestión de los residuos sólidos en pequeños floricultivos del Municipio de La Ceja, Antioquia. *Corporación Universitaria Lasallista*.

Google Maps. (2020). *Ubicación Isabelita*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Flores+Isabelita/@6.0465902,-75.3927793,1483m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e469903833e1207:0xa931a15a586852d5!8m2!3d6.0466375!4d-75.3904799?hl=es>

Hernández Sampieri, R. F. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F.: McGraw Hill.

Infoagro. (s.f.). *El cultivo de la rosa*. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_rosa.asp

Infoagro. (s.f.). *El cultivo del clavel*. Obtenido de <https://infoagro.com/flores/flores/clavel.htm>

Infoagro. (s.f.). *El cultivo del crisantemo*. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_crisantemo.asp

Lara González, J. (2008). Reducir, reutilizar, reciclar. *Ciencia y Cultura. Elementos*, 45-48.

- Méndez Alvarez, C. (2011). *Metodología. Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales*. México, D.F.: Limusa.
- Ministerio de Agricultura. (2018). *Estándar Florverde para la producción sostenible de flores y ornamentales*. Bogotá, D.C.: Equilibrio Gráfico Editorial Ltda.
- Ministerio de Agricultura. (2020). *Cadena de flores. Dirección de cadenas agrícolas y forestales*. Bogotá, D.C.
- Patiño Martínez, P. (2014). Biomasa: Estudio de factibilidad para implementar un sistema de generación de energía a partir de residuos vegetales. *Universidad de Santander*.
- Reid, M. (2009). Poscosecha de las flores cortadas. Manejo y recomendaciones. *Universidad de California*.
- Salinas Alzate, N. (2018). Alternativas de tratamientos y disposición final de los productos vegetales originados por la tala, poda, jardinería y rocería en el municipio de Itagüí. *Corporación Universitaria Lasallista*.
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Bogotá, D.C.: Alcaldía de Bogotá.

ANEXO

Propuesta de guía técnica para la torrefacción de residuos de material vegetal, de la empresa Flores Isabelita

Introducción

La presente propuesta de guía técnica, tiene como finalidad plasmar la viabilidad del proceso de torrefacción de residuos de material vegetal (flores, tallos y hojas), de la empresa Flores Isabelita, teniendo en cuenta las necesidades específicas, además de su compromiso con el entorno.

En la actualidad, existe una tendencia empresarial, que lleva a las organizaciones a realizar sus actividades económicas de forma amigable con el medio ambiente, en lo que se conoce como desarrollo sostenible, que hace referencia al buen manejo de los recursos y residuos, que resultan después del proceso de producción. En el área de los cultivos de flores, no es la excepción, ya que, por su objeto social, abundan los residuos naturales, que pueden ser utilizados, ayudados por las nuevas tecnologías, para crear abono o energías renovables. Por esta razón, se presenta la propuesta mediante la técnica de torrefacción de residuos de material vegetal.

Beneficios del aprovechamiento de residuos de material vegetal

El aprovechamiento de residuos orgánicos representa múltiples beneficios, además que disminuye la problemática que viven las poblaciones aledañas al relleno sanitario, que, en últimas, son las personas más afectadas con el mal manejo de los residuos orgánicos.

Beneficios ambientales

- Reducen la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario.
- Se transforman en materia prima para fertilización ecológica.
- Contribuyen a la recuperación de suelos degradados.
- Facilitan la transición hacia modelos de agricultura ecológica u orgánica.

- Mitigan la emisión de gases de efecto de invernadero, al utilizar abonos orgánicos en sustitución de fertilizantes sintéticos.
- Incentivan el aumento de la cobertura vegetal de la ciudad, al tener disponibilidad de sustratos para cultivar plantas, que aumentan la tasa de fijación de dióxido de carbono, lo que mitiga el calentamiento global.
- Disminuyen la presión sobre los recursos naturales, como la tierra negra y el petróleo (materia prima de fertilizantes sintéticos), al reducir su consumo.
- Regulan el pH del suelo, y su aplicación es benéfica en la producción de cultivos.
- Aplacan los olores ofensivos que se derivan de la descomposición de los residuos en el relleno sanitario, que afectan principalmente a las personas que viven cerca al relleno.

Beneficios para la salud humana

- Facilitan la obtención de alimentos orgánicos, libres de contaminación por agroquímicos, fomentando la alimentación sana como estrategia de salud preventiva.
- Permiten disponer de sustratos orgánicos para el cultivo ecológico de plantas aromáticas medicinales, las cuales se constituyen en una alternativa natural a los productos farmacológicos.
- Previenen la aparición y transmisión de enfermedades que se generan con un manejo inadecuado de los recursos orgánicos al reducir la proliferación de vectores (moscas, roedores, entre otros).

Objetivo

Proponer el inicio de una guía para la implementación de la técnica torrefacción y el aprovechamiento de los residuos de material vegetal de la empresa Flores Isabelita, contribuyendo con el cuidado ambiental y el compromiso con el entorno.

Alcance

Entregar una propuesta de inicio de guía técnica para la implementación de la torrefacción que permita el aprovechamiento de residuos de la empresa Flores Isabelita, con cada uno de sus pasos, para llevar a cabo este proceso.

Insumos

Los materiales necesarios para este proceso son los restos de cosecha de flor, virutas de aserrín (en capas finas) y tierra negra. Las herramientas recomendadas, son: horqueta y/o pala, para agregar material, voltear y sacar el compost terminado; regadera; manguera o aspersor, para mantener una correcta humedad en el material en compostaje; termómetro; vara metálica o palo de madera, para la medición de temperaturas del material en compostaje; tamiz, para el cernido del material al finalizar el proceso de compostaje y separar elementos gruesos que aún no se han descompuesto; papel de pH (opcional), para el control de la acidez durante el proceso; y otros utensilios que ayudan en la labor, aunque no son imprescindibles, como los rastrillos, carretillas, aireadores manuales, entre otros. (Román, 2013)

Equipos

En cuanto a los equipos necesarios para la torrefacción, estos se componen de:

- Secadero
- Horno
- Torrefactor
- Intercambiador de calor
- Molino
- Unidad de recuperación de la caída de presión

Medición

La torrefacción, hace referencia a la descomposición térmica que sufre la biomasa a temperaturas de 200°C a 300°C, a presión atmosférica y en ausencia de agentes oxidantes, eliminando el agua y los productos orgánicos volátiles, y acortando las largas cadenas de polisacáridos. También es conocida como tostado o pirólisis moderada. El resultado es un producto con mejores propiedades como combustible sólido: mayor poder calorífico, más hidrófobo, menos resistente a la molienda y sin desarrollo de actividad bacteriana que puede deteriorar el combustible. (Trasobares Sánchez, 2011).

Las etapas de la torrefacción son: el calentamiento o Pre – secado, que ocurre cuando la biomasa se calienta, desde la temperatura ambiente, hasta 100°C; secado, especialmente para biomásas con contenido de agua superior al 40%, el cual se da a temperatura constante, hasta que la humedad superficial se remueve completamente. Posteriormente, la humedad intra – partícula comienza a eliminarse hasta alcanzar un valor crítico; el post – secado, donde la biomasa se calienta hasta la temperatura de torrefacción, de 200°C – 300°C, y la humedad físicamente enlazada y algunos compuestos orgánicos ligeros, se separan de la biomasa. La necesidad de calor es relativamente pequeña, pues solamente se necesita proveer calor sensible al sólido. (Trasobares Sánchez, 2011)

También se encuentran las etapas de la torrefacción, que es la despolimerización de la biomasa. El requerimiento energético de la torrefacción es bajo, donde el consumo de calor es inferior a las etapas de secado; y, por último, el enfriamiento, donde la biomasa abandona el reactor a la temperatura de torrefacción, que por lo general supera su temperatura de ignición, y a menos que se enfríe el sólido, podría combustionar espontáneamente al ponerse en contacto con el aire. El enfriamiento se puede hacer con aire o con agua. (Trasobares Sánchez, 2011)

En cuanto a los equipos necesarios para la torrefacción, estos se componen de ssecadero, horno, torrefactor, intercambiador de calor, molino y unidad de recuperación de la caída de presión.

Referencias bibliográficas

Román, P. M. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Trasobares Sánchez, J. (2011). Torrefacción de biomasa: diseño y propuesta económica de un reactor experimental. *Universidad de Zaragoza*.