

MODELO DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE LOS
RESIDUOS GENERADOS EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE NEIVA

KAROL MELISSA GARZÓN CABRERA
KATHERINE GARZÓN CABRERA

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
NEIVA
2020

MODELO DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE LOS RESIUIOS
GENERADOS EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE NEIVA

KAROL MELISSA GARZON CABRERA
KATHERINE GARZÓN CABRERA

PROYECTO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

Profesor:
Leonardo Fabio Medina Ortiz
Magister en Estudios Interdisciplinarios de la complejidad

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
NEIVA
2020

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Neiva y Fecha (18, 05, 2020)

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a Dios, por transmitirnos su infinita sabiduría en cada caída que tuvimos.

A nuestra madre Alicia Cabrera Pastrana, quien camino cada paso junto a nosotras y sus palabras de aliento, se convirtieron en un bálsamo en los momentos más difíciles.

A nuestro padre, Edgar Adolfo Garzón Lozano que nos permitió ver la vida más allá de nuestro diario vivir, a dar lo mejor siempre, y a no rendirnos ante aquellos problemas que aunque parecieran agujeros negros, se convertirían en portales hacia nuevas oportunidades.

A nuestro abuelo, Edgar Garzón quien con su pizarra verde y una tiza, nos dibujó un mundo lleno de posibilidades.

A nuestra tía Marisol Garzón quién con su apoyo y su excelente ejemplo de vida logró transmitirnos su profesionalismo y motivación siempre a ser mejores personas y grandes profesionales.

A cada una de las personas que confiaron en nosotras y en este proyecto.

Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por darnos a personas maravillosas a nuestro alrededor, porque a pesar de muchos obstáculos, logramos materializar lo que ha sido nuestro sueño desde muchos años atrás.

A nuestra madre Alicia Cabrera Pastrana por apoyarnos en cada paso dado, por brindar cada esfuerzo y pasos a nuestra superación, y por darnos una palabra sabia, ante cualquier adversidad.

A nuestro padre Edgar Adolfo Garzón Lozano, por sus enseñanzas y su manera de ver cada problema como un reto en la vida.

A cada ser puesto en nuestro camino, que nos brindó sus enseñanzas y nos abrieron un espacio en sus vidas

A nuestros campesinos, que han sido olvidados, y cuyas manos y piel, reflejan el arduo trabajo que realizan día a día, el cual no es recompensado como se debe.

A nuestro abuelo, Edgar Garzón, quien con sus miles de ideas y con su trabajo realizado, nos enseñó a no temerle a las ideas, a descifrarlas y ponerlas al servicio de los demás.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	18
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA PROBLEMA	21
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD APLICADA	25
CAPÍTULO 1	
5. MARCO TEÓRICO	26
5.1 ¿QUÉ ES UN RESIDUO?	26
5.1.1 Clasificación de los residuos	26
5.2 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	27
5.2.1 Problemáticas asociadas a los residuos sólidos orgánicos	28
5.3 MANEJO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	28
5.3.1 Colombia y la gestión de sus residuos.	30
5.3.2 El Huila y la gestión de sus residuos	33
5.4 TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	34
5.4.1 Vermicompostaje	34
5.4.2 Biometanización	34
5.4.3 Compostaje	35
5.4.3.1 Fase mesófila	35
5.4.3.2 Fase termófila	35
5.4.3.3 Fase de enfriamiento y maduración	35
5.5 EL ABONO ORGÁNICO	36
5.5.1 Propiedades y beneficios de los abonos orgánicos	37
5.5.2 Parámetros de calidad del abono orgánico	38
5.5.2.1 Humedad	40
5.5.2.2 Aireación	40

5.5.2.3 Relación C/N	41
5.5.2.4 pH	41
5.5.2.5 Fraccionamiento y tamaño de la materia orgánica	41
5.5.3 El abono orgánico y su rol fundamental en la agricultura	42
5.5.4 Fertilizantes químicos vs abonos orgánicos	43
5.6 ANÁLISIS DEL SECTOR	45
5.7 UNA APUESTA A LA AGRICULTURA ORGÁNICA	47
5.8 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ABONO ORGÁNICO	48
5.8.1 Proceso artesanal del abono orgánico	48
5.8.2 Proceso semi-industrial del abono orgánico	48
5.8.2.1 Sistemas de compostaje abiertos o en pilas	48
5.8.2.2 Sistemas de compostaje cerrados	50
5.8.3 Proceso industrializado de abono orgánico	52
5.9 OTROS FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	55
6. MARCO REFERENCIAL	56
6.1 TECNOLOGÍAS ASOCIADAS AL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	56
7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	61
CAPÍTULO DOS	
8. METODOLOGIA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	64
8.1 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	64
8.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	64
8.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	64
8.3.1 Primarias	64
8.3.2 Secundarias	64
8.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	64
8.4.1 Caracterización de la población	64
8.4.2 Determinación de la muestra	65
8.5 MÉTODOS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	67
8.5.1 Análisis de la información	68
8.5.2 Presentación de resultados	68
8.6 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	78
CAPÍTULO 3	
9. MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN	79
9.1 Deshidratación Solar	79

9.2 Deshidratación por aire	79
9.3 Deshidratación por congelación	79
9.4 Deshidratación osmótica	79
10 ¿QUÉ ES UN DESHIDRATADOR?	80
10.1 ¿QUÉ ES UN DESHIDRATADOR SOLAR?	80
11. INVESTIGACIONES SOBRE EL EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO	81
12. PROPUESTA DE INNOVACIÓN; LA DESHIDRATACIÓN COMO PROCESO CLAVE EN LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO	83
13. MATERIAS PRIMAS	85
14. DISEÑO DEL PROTOTIPO	86
14.1 FUNCIONAMIENTO	87
14.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO	88
14.3 FLUJOGRAMA DEL PROCESO	90
14.4 CUADRO COMPARATIVO PROCESOS DE ELABORACIÓN ABONO ORGÁNICO	91
15. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MEDIANTE PRUEBAS CASERAS	92
15.1 La deshidratación disminuye el crecimiento de hongos y bacterias en los residuos	92
15.2 Pruebas de deshidratación	94
15.2 Pruebas de germinación	95
16. VENTAJAS COMPETITIVAS E IMPACTOS DEL PROYECTO	96
16.1 Impactos ambientales	97
16.2 Impactos sociales	97
16.3 Impactos económicos	97
17. PRINCIPALES RETOS Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	97
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos	39
Tabla 2. Límites máximos en mg/kg (ppm) de metales pesados (en base seca), según la Norma Técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos	39
Tabla 3. Parámetros en el proceso de producción de abonos orgánicos	41
Tabla 4. Cuadro comparativo procesos de elaboración abono orgánico	91

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
Gráfica 1. Tratamiento y eliminación global de residuos	30
Gráfica 2. Distribución de sistemas de disposición final de residuos en Colombia	31
Gráfica 3. Caracterización de residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia	32
Gráfica 4. Relación de la temperatura, oxígeno y pH, durante el proceso de compostaje	36
Gráfica 5. Caracterización de la población a encuestar	69
Gráfica 6. Caracterización del estrato al cual pertenece	69
Gráfica 7. ¿Sabe qué son los residuos sólidos orgánicos?	70
Gráfica 8. Caracterización de los residuos sólidos más generados	71
Gráfica 9. Cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en un día	72
Gráfica 10. ¿Sabe qué es separación en la fuente?	72
Gráfica 11. ¿Realiza usted separación en la fuente?	73
Gráfica 12. ¿Cuál considera usted que es el principal factor que le impide realizar separación en la fuente de sus residuos?	74
Gráfica 13. ¿Qué tipo de residuos separa?	75
Gráfica 14. ¿Sabía que los residuos orgánicos se pueden aprovechar para la elaboración de compost o abono orgánico?	76

Gráfica 15. ¿Ha tenido alguna de las siguientes problemáticas con respecto a la disposición de sus residuos?	76
Gráfica 16. ¿Usted estaría dispuesto a separar los residuos sólidos orgánicos que genera, y donarlos para la producción de compost o abono orgánico?	77
Gráfico 76. Flujograma del proceso desarrollado	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Jerarquía de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos	28
Figura 2. Mapa del estado de la disposición final autorizada por departamentos en Colombia	33
Figura 3. Medición de la humedad en la mezcla mediante la prueba de puño	40
Figura 4. Mapa del estado de la degradación en los suelos por erosión en Colombia	42
Figura 5. Etiqueta para abonos o fertilizantes o enmiendas o acondicionadores orgánicos sólidos	46
Figura 6. Planta de abonos orgánicos empresa Control Ambiental De Colombia	50
Figura 7. Compostador desarrollado por la empresa Earthgreen Colombia S.A.S	50
Figura 8. Compostera vertical	51
Figura 9. Compostera horizontal	52
Figura 10. Máquina separador sólido-líquido	53
Figura 11. Planta de granulación de abonos orgánicos con granulador de tambor rotativo	53
Figura 12. Planta de Granulación y Secado para Abonos Orgánicos Mini Top 500	54
Figura 13. Planta procesamiento estiércol para fabricación de pellets	54
Figura 14. Aparato y método para la producción de sustancia madurada semejante al compost	56
Figura 15. Planta procesadora de desechos orgánicos sólidos	57

Figura 16. Comunas y barrios de la ciudad de Neiva, departamento del Huila	66
Figura 17. Recolección de la información	67
Figura 18. Ejecución de la campaña —Cierra el ciclo de tus residuos sólidos orgánicos	68
Figura 19. Deshidratador solar	80
Figura 20. Tipos de deshidratadores solares	81
Figura 21. Sistema de recolección de lixiviados en pilas	84
Figura 22. Máquina de deshidratación de estiércol de vaca avícola Separador sólido-líquido	84
Figura 23. Residuos sólidos orgánicos en la Central de Abastos del Sur del País. Surabastos, Neiva-Huila	85
Figura 24. Cáscaras de huevo, como materia prima	85
Figura 25. Vista lateral y plano isométrico del modelo propuesto	86
Figura 26. Partes del deshidratador solar	87
Figura 27. Molino triturador	88
Figura 28. Abono orgánico obtenido	88
Figura 20. Esquemas deshidratador mixto, con flujo de aire forzado	81
Figura 21. Central de Abastos del Sur del País. Surabastos, Neiva-Huila	83
Figura 22. Vista lateral del modelo propuesto	84
Figura 23. Cuadro comparativo procesos de elaboración abono orgánico	87

Figura 24. Muestra A y B de residuos sólidos orgánicos	93
Figura 25. Aparición de moho muestra B	93
Figura 26. Residuo orgánico contaminado con moho	94
Figura 27. Muestra al iniciar el proceso (Izquierda) y muestra deshidratada (Derecha)	95
Figura 28. Prueba de germinación. Muestra A, a la izquierda, (sin abono orgánico). Muestra B, a la derecha (con abono orgánico)	96

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Artículo Basura útil, made in Huila. El Tiempo	106
Anexo B. Encuesta de caracterización de residuos sólidos orgánicos	107
Anexo C. Desarrollo de la campaña -Cierra el ciclo de tus residuos Sólidos orgánicos	108

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista etimológico, la palabra economía y ecología comparten el término griego oikos que significa casa. Ambas, se complementan en la búsqueda de la satisfacción de las necesidades sin comprometer ni generar daños en el ambiente. Lamentablemente, se han visto muchas veces enfrentadas, generando sobreexplotación de recursos naturales y altos niveles de contaminación, entre otras problemáticas. El equilibrio se logra, cuando la economía y la ecología, trabajen bajo ese mismo objetivo, y de la mano, para generar un bienestar de tipo social, económico y ambiental.

Pero, ¿cómo lograr ese equilibrio económico, y a su vez ambiental y social? Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, surgen en el año 2015, con el compromiso de 193 países, entre ellos Colombia, y están orientados hacia una producción y consumo sostenible, a la reducción de la desigualdad social, a la conservación de los recursos, entre otras prioridades. Para lo anterior, se establecieron 17 objetivos en total y 169 metas, todas con el fin de generar un bienestar integral sin perjudicar el medio ambiente.

El presente proyecto, se enmarca con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, el cual propone garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Entre las acciones para lograrlo, se estableció que para el año 2030, se debe disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización de residuos.

Según el informe del Banco Mundial del año 2018, titulado *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, para el año 2018, los residuos sólidos orgánicos representaron la mayor proporción generados a nivel global, con un 44% de participación. Es aquí donde se deben tener en cuenta diversas alternativas para su aprovechamiento, como lo son la producción de abonos orgánicos.

Como lo afirma el Consejo Nacional de Política Económica y Social, a través del documento 3577, en Colombia existe una ineficiencia en los procesos de producción y comercialización de abonos orgánicos y una limitada investigación en el manejo y aprovechamiento de este tipo de residuos.

Las estrategias más comunes en la mayoría de países del mundo para el tratamiento de sus residuos comprenden técnicas como el uso de rellenos sanitarios, de vertederos, la quema a cielo abierto, la biometanización y el compostaje. Según el Documento Conpes 3874, en su Política Nacional para la Gestión integral de residuos sólidos, al año 2016, el 83% de los residuos sólidos

domiciliarios que se generaron en Colombia, terminaron en los rellenos sanitarios y solo el 17% fue recuperado para su respectiva reincorporación al ciclo productivo. Una cifra no tan alentadora, en materia de reciclaje y reutilización de residuos.

El potencial de los residuos sólidos orgánicos, ha sido utilizado casi desde los albores del sedentarismo. Muchas tribus y comunidades, descubrieron que si arrojaban los restos de comida, algún tipo de hojarasca, u otro tipo de materia orgánica a sus cultivos, estos crecían más rápido, el suelo cambiaba levemente el tono de color y mejoraban significativamente sus condiciones.

¿Qué ha cambiado desde entonces con respecto a la forma en que aprovechan estos residuos? Actualmente se emplean técnicas artesanales como el compostaje, para acelerar su descomposición de manera controlada y así obtener un producto más estable e higiénico, denominado compost o abono orgánico. Muchos países europeos, han implementado complejas líneas de producción para obtener un producto similar y en menor tiempo. En Colombia, las técnicas de tratamiento de este tipo de residuos, son casi en su totalidad artesanales, y la producción muchas veces es para autoconsumo.

Pese a que el sector agropecuario es considerado un sector clave y un pilar fundamental de la economía colombiana, las políticas para su fortalecimiento son escasas y poco eficientes, y los altos costos asociados a los insumos como fertilizantes y alimentación balanceada animal, junto a una falta de tecnificación de sus procesos, impiden un aumento de su competitividad. El precio de los fertilizantes representa para muchos agricultores entre el 50% y el 65% de los costos en sus cultivos. Lo que se traduce en la pérdida de rentabilidad.

Los abonos orgánicos no solo representan una opción rentable, sino aportan innumerables beneficios para el suelo, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes y mitigando los riesgos asociados a este tipo de residuos, tales como la emisión de gases de efecto invernadero, malos olores y la generación de lixiviados.

Debido a una necesidad de darle un aprovechamiento a estos residuos y minimizar los impactos generados en el ambiente, se dio inicio al presente proyecto, cuyo objetivo plantea la búsqueda de un modelo industrial, que permita aprovechar los residuos sólidos orgánicos, mediante un proceso eficaz, sin la generación de olores y lixiviados, y que permita la generación de productos como abonos orgánicos, en un menor tiempo.

Para lograr este objetivo, en el capítulo 1, se expone el marco teórico, con todos los conceptos claves que lo enmarcan. Se encuentra, además el marco legal que afecta directa o indirectamente su ejecución. Posteriormente, el marco referencial, en el cual se realizó una búsqueda exhaustiva de todos los avances tecnológicos

que hay en el área, el análisis de las patentes con procedimientos similares y estudios referentes al tema.

En el capítulo 2, se describe la metodología de la investigación realizada, cuyo objetivo es lograr una caracterización de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neiva, teniendo como población objetivo a los principales focos de generación, tales como hogares, restaurantes y principales plazas de mercado. Los resultados obtenidos serán de gran relevancia para el logro de los objetivos planteados.

En el capítulo 3 comprende la ejecución del proyecto, inicia con el estudio del modelo propuesto y la técnica a aplicar, el flujograma de este, y las pruebas realizadas con el fin de validar los resultados obtenidos.

Con este proyecto se apuesta a la generación de valor agregado a estos residuos, mediante un proceso eficaz. Una apuesta por cerrar la brecha tecnológica del sector rural, y fortalecer muchos de sus actores, brindando así un producto de calidad a un precio competitivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En la Edad Media, con la aparición de la peste negra y otras enfermedades que afectaron a gran parte de la población europea y asiática, quedó en evidencia una problemática que fue en parte su detonante; una ineficiente gestión de los residuos sólidos, ya que muchas ciudades no poseían las mínimas condiciones de infraestructura necesarias para su adecuada disposición, y sus habitantes arrojaban y acumulaban los restos de alimentos y sus desperdicios en las calles y en fuentes de agua. Convirtiéndose en focos de plagas como las ratas y pulgas, y vectores responsables de estas enfermedades.

Se culpó a los judíos de lanzar maldiciones y envenenar fuentes de agua, pero no fue una maldición, fue una mala gestión de sus residuos acumulados en sus calles y fuentes hídricas, atrayendo vectores causantes de estas enfermedades. Según el informe del Banco Mundial titulado *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, una ineficiente gestión de los desechos origina contaminación en los cuerpos de agua, transmisión de enfermedades, aumentando los problemas respiratorios a través de partículas en el aire y afectando el desarrollo económico, entre otras consecuencias.

Este informe afirma también que todas las regiones generan alrededor del 50% o más de desechos orgánicos. Y que en el año 2016, se generaron 1.600 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono derivados del tratamiento y la eliminación de residuos sólidos en vertederos a cielo abierto y quema de estos, y se prevé que las emisiones relacionadas con los desechos sólidos aumentarán a 2.600 millones de toneladas dióxido de carbono para el año 2050 si no se realiza su adecuada gestión.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto, toma como eje cuatro problemáticas, interrelacionadas de manera directa o indirecta, ellas son: los problemas asociados a una inadecuada gestión de los residuos sólidos orgánicos, que hace que terminen su ciclo en un relleno sanitario, generando gases y lixiviados, entre otros contaminantes, y haciendo que la vida del relleno sanitario sea cada vez menor.

El segundo eje, es el uso indiscriminado de fertilizantes, y su alto costo, que representa pérdida de rentabilidad. Este uso indiscriminado, ha ocasionado pérdida de fertilidad en el suelo, eutrofización, alteraciones físico químicas del

suelo, entre otras. Por lo cual se hace necesario, la búsqueda de productos sustentables, como el abono orgánico. Otra problemática, es la poca oferta en el mercado de abonos orgánico, para satisfacer la demanda en aumento de productos orgánicos, ya que este tipo de abono, representa el primer eslabón, hacia una agricultura sostenible.

Un eje, no menos importante, es la inexistencia de una articulación entre todos los actores involucrados en la cadena de aprovechamiento de estos residuos, desde los hogares, hasta las empresas que los tienen como insumo para la elaboración de productos. El éxito para una gestión integral, es su adecuada separación, es decir, estas políticas deben ir enfocadas también hacia una la creación de una cultura para incentivar su aprovechamiento.

La acumulación de los residuos sin ningún tipo de tratamiento previo o aprovechamiento amenaza directamente al medio ambiente, ya que permite la concentración de contaminantes, que también son perjudiciales para la salud humana. Los residuos orgánicos debido a su naturaleza, generan en mayor cantidad lixiviados, es decir el líquido producido después del proceso de descomposición. Estos líquidos, al filtrarse, contaminan fuentes de agua y se evaporan regresando muchas veces como lluvia ácida.

La materia orgánica en descomposición, produce una mezcla de gases conocida como biogás compuesta principalmente por metano, dióxido de carbono, y enfermedades asociadas a la generación de vectores como mosquitos, moscas y ratas. Su ciclo de vida es corto y terminan generalmente en el relleno sanitario.

La capacidad de los rellenos sanitarios se ve afectada también, pues su acumulación, hace que su vida útil se acorte. Además se pierde un potencial importante de generación de energía y nutrientes para adecuación de suelos. Por este motivo, es necesario considerar estrategias puntuales que permitan el aprovechamiento de este tipo de residuos.

Aunque milenariamente los residuos orgánicos han servido para hacer fertilizantes naturales, tienen un inconveniente para el paradigma de la época actual: la absorción de nutrientes es forma gradual, más no inmediata. Por este motivo, se ha hecho un uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que aceleran el proceso de crecimiento por su gran solubilidad y rapidez de absorción. Este uso de manera poco controlada, genera consecuencias que afectan no solo al medio ambiente, sino a la salud.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Colombia es uno de los seis países que utiliza mayor cantidad de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable. Entre las consecuencias de su uso excesivo, se encuentra la presencia de metales pesados, cambios significativos en

el pH del suelo, erosión, el fertilizante que no sea usado por las plantas se filtra hasta cuerpos de agua, contaminándolos y generando eutrofización. Las consecuencias en la salud, según números estudios, incluyen el cáncer de piel, por una exposición prolongada a estos, y enfermedades como la metahemoglobinemia, ocasionada principalmente en niños por la ingestión de nitratos en el agua que llegan por filtraciones.

Una de las problemáticas, asociada a los fertilizantes, es que su mercado se encuentra concentrado actualmente en unas pocas empresas, generando un alza significativa de precios, perjudicando directamente al agricultor e indirectamente a cada eslabón de la cadena agropecuaria hasta el consumidor final. Según la base a diciembre de 2019, existen 1868 empresas de fertilizantes registradas en Colombia, pero solo unas pocas empresas, entre ellas internacionales, la compañía noruega Yara, con plantas en Valle del Cauca y Cartagena. Otras de las grandes productoras son Monómeros Colombo Venezolanos S.A y Precisagro, entre otras, concentran el 92% de la producción nacional total de fertilizantes. La anterior genera una pérdida de rentabilidad y competitividad debido a que el precio de estos insumos representa un porcentaje significativo en el costo total.

Por lo anterior se hace necesaria la búsqueda de alternativas sustentables para el tratamiento de estos residuos. Actualmente, el compostaje es la técnica más utilizada, que permite mediante una descomposición aeróbica controlada, obtener compost o abono orgánico. En Colombia, este proceso es en su mayoría artesanal, y debido a un crecimiento y aumento de la demanda de productos orgánicos, se deben evaluar técnicas que permitan una mayor producción, a un menor tiempo y costo.

Con un aumento de la demanda de productos orgánicos, y de prácticas de agrícolas sostenibles, actualmente se hace latente la necesidad de fortalecer este mercado, el cual es fundamental desde el inicio de su cadena de valor. Es evidente, que la oferta de abonos orgánicos en Colombia, no satisface la demanda en su totalidad, lo anterior, debido a que la implantación de las tecnologías de tratamiento de estos residuos avanza lentamente, tienen un alto costo y además dependen en gran medida de las condiciones climáticas de cada región, entre otros factores.

Una problemática no menos importante a las anteriores mencionadas, es la poca cultura que existe hacia el reciclaje y posterior aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, ya que muchas veces se desconoce cómo realizar una adecuada recolección y separación. Por su naturaleza, de rápida descomposición, estos residuos requieren un mayor control, ya que de lo contrario, se generan lixiviados, malos olores y aparición de plagas, haciendo que la opción más tentadora sea desecharlos.

Para finalizar, es evidente la débil estructura de las políticas públicas enfocadas hacia el fortalecimiento de una economía circular en el país. No existe una articulación de todos los actores claves de la cadena de valor de los residuos sólidos orgánicos. Estas políticas deben ir enfocadas al fortalecimiento de cada eslabón, y así los residuos tendrán un manejo y gestión integral, desde su fuente de origen (hogares, restaurantes, entre otros) hasta su aprovechamiento final.

1.3 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA PROBLEMA

¿Es viable implementar un modelo de producción industrial para la elaboración de abono orgánico a partir de los residuos generados en la zona urbana de la ciudad de Neiva?

2. JUSTIFICACION

Según el Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos del año 2017, en Colombia, se generaron alrededor de 30.081 toneladas de residuos por día. Se afirma, además que el sistema de disposición final predominante en el país es el relleno sanitario, y de los 158 sitios de disposición final con información sobre vida útil, el 35% tienen una vida útil vencida o próxima a vencer. De ahí, la importancia de la búsqueda e implementación de técnicas que permitan darles un tratamiento adecuado y que permitan cerrar su ciclo de la mejor forma mediante su aprovechamiento.

Actualmente, el mercado de los abonos orgánicos en Colombia no alcanza a satisfacer la demanda requerida por los cultivos orgánicos. Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (Ifoam), en el mundo se producen al año 57,8 millones de hectáreas de cultivos de productos orgánicos, y de estos, tan solo el 0,08% se produce en Colombia, que se destaca en la producción orgánica productos como el café, palmito silvestre, caña de azúcar, palma de aceite, aromática, frutas tropicales y hortalizas, entre otros.

El costo de los fertilizantes químicos, incentiva a la búsqueda de otras alternativas para la mitigación de impactos en el ambiente y la salud. La agricultura ecológica ofrece la posibilidad de convertir estos desechos en abonos y obtener productos más saludables, lo que representa una oportunidad valiosa para satisfacer la demanda en aumento de estos productos orgánicos. Por este motivo, aprovechar estos residuos, representa una alternativa viable para la producción de abonos orgánicos, los cuales tienen un rol fundamental desde el inicio de su cadena valor.

Es evidente, que las inversiones en innovación en este sector, no han sido muchas. El Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) en su documento 3577, establece que -existe una ineficiencia en los procesos de producción y comercialización de abonos orgánicos y una limitada investigación en el manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos. El proceso y uso de este tipo de abonos ha sido empírico, variando cantidades, composición y frecuencia de aplicación. |

Los residuos sólidos orgánicos, a diferencia de otro tipo de residuos sólidos, deben tener un mayor control sobre las variables, ya que su naturaleza orgánica, acelera el proceso de descomposición, por lo tanto no son vistos como una opción rentable para aprovecharlo. Por lo anterior, terminan su ciclo, en un relleno sanitario.

Estos residuos no han sido aprovechados de una manera eficaz, ya que su valor es muchas veces desconocido, y los métodos de tratamiento son artesanales y requieren de un tiempo prolongado para obtener un producto aprovechable. Los costos de su transporte y almacenamiento, son factores que limitan su tratamiento y aplicación industrial.

Por este motivo se hace indispensable la aplicación y estudio de nuevas técnicas que permitan mediante una transformación biológica, física y química, lograr su aprovechamiento, sin la generación de contaminantes durante el proceso y que sean económicamente viables. El presente proyecto tiene como objetivo la búsqueda y el desarrollo de una nueva técnica que permitan aprovechar estos residuos, sin generar contaminantes durante su proceso y además obtener productos comercializables.

Los procesos convencionales de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generan lixiviados, estos son unos jugos, los cuales son ricos en carga orgánica y microorganismos, que pueden llegar a ser perjudiciales para el ser humano, al ser foco de muchos vectores. Los lixiviados pueden filtrarse en el suelo, y llegar a contaminar cuerpos de agua, ocasionando un gran impacto ambiental.

¿Cómo poder acortar los procesos biológicos durante el compostaje, sin afectar la calidad del producto final? Existen empresas que adoptaron complejas líneas automatizadas de producción de abonos orgánicos, pero el costo de su implementación, es elevado.

El objetivo primordial de este proyecto, será la búsqueda de un proceso de producción de abono orgánico, que no solo evite la generación de lixiviados, sino que sea a un costo bajo, y un menor tiempo.

Sus beneficios involucrados, no sólo serán de tipo ambiental, sino de tipo social y económico. Además de los mencionados anteriormente, permitirá reducir la cantidad de residuos sólidos orgánicos que llegan al relleno sanitario, contribuirá a aumentar y recuperar los nutrientes en el suelo, y otros parámetros que se han visto seriamente afectados por el uso indiscriminado de fertilizantes.

En el aspecto social, el proyecto permitirá la generación de empleo, incentivar la investigación y fortalecer un trabajo articulado con la comunidad. Permitirá además, aumentar la oferta a diferentes actores del sector agropecuario en el departamento del Huila, brindando productos a bajo costo y de fácil comercialización y fortalecer el paso hacia modelos de agricultura sostenible.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo industrial que permita el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y la generación de productos de valor.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1 Realizar una caracterización de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neiva

3.2.2 Identificar las condiciones actuales de producción de abono orgánico

3.2.3 Realizar la respectiva caracterización del proceso, mediante el mapa de procesos y flujograma

4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN SEGÚN LA FACULTAD

Las líneas de investigación que contempla la Universidad Antonio Nariño para los trabajos de tesis del programa de Ingeniería Industrial son dos: La Línea de productividad, competitividad e innovación y la de sistemas integrados de gestión en las organizaciones.

El presente proyecto se enmarca en la de la Línea de productividad, competitividad e innovación. Esta tiene el objetivo de apoyar el desarrollo productivo, tecnológico y empresarial de la región y el país, a través de proyectos de investigación que permitan la innovación de procesos, procedimientos y técnicas tendientes al aprovechamiento integral de los recursos de la organización, dentro de las áreas temáticas, se toma la de Ingeniería de desarrollo de producto e innovación.

El objetivo principal del presente proyecto, es la de innovación, generando una propuesta de un proceso eficaz, que permita el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, enfocado a la generación de productos con un alto nivel competitivo, aportando así al fortalecimiento del sector agropecuario de la región y a la mitigación de los impactos ambientales que estos residuos generan en el ambiente.

Según el perfil del egresado, los Ingenieros Industriales de la Universidad Antonio Nariño, están en capacidad de contribuir al desarrollo socioeconómico del país, con las facultades de generar aplicaciones científicas e interdisciplinarias, con contenido innovador; con criterio ético y de responsabilidad. Según el perfil del egresado, un Ingeniero Industrial, egresado de la UAN será reconocido por su calidad debido a sus aportes significativos al desarrollo industrial, económico y social del país.

CAPÍTULO 1

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ¿QUÉ ES UN RESIDUO?

Según el Ministerio de Medio Ambiente en el Decreto 1713 de 2002, define un residuo como cualquier objeto, material, sustancia o elemento que resulta del consumo o uso de un bien en diversos tipos de actividades (domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios), que el generador abandona, rechaza o entrega, y es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Cabe resaltar que todo los residuos generan un impacto y una alteración en el ecosistema, por este motivo es imprescindible darles un adecuado tratamiento e incentivar una economía circular en donde estos cierren su ciclo de la mejor manera. La forma en como es tratado un residuo o comúnmente conocido como basura, permite obtener mucha información de una sociedad; las costumbres, los hábitos alimenticios, tendencias, entre otros datos de gran relevancia. Su tratamiento, es una perspicaz pero significativa variable de que tan evolucionada se encuentra una ciudad. Un pueblo que logre gestionar de manera adecuada sus desechos, da muestras de una cultura hacia el cuidado de su entorno.

5.1.1 Clasificación de los residuos. Los residuos se pueden clasificar según su estado físico, origen, composición, y peligrosidad.

- Según su estado físico, se encuentran los residuos sólidos (restos de metales, plástico, vidrio, cartón, entre otros), líquidos (aguas residuales, lixiviados, entre otros) y gaseosos (gases tóxicos derivados de actividades industriales, clorofluorocarbonos, entre otros).
- Con respecto a su origen, están los residuos domiciliarios, que son aquellos provenientes de cualquier actividad doméstica. Los residuos industriales, generados de toda actividad de producción, directamente relacionados con la actividad de la empresa. Residuos sanitarios, provenientes de todos aquellos centros y establecimientos de atención sanitaria. Y los subproductos animales, es decir aquellos no destinados al consumo humano.

- Según su composición se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos son aquellos que se descomponen con mayor facilidad, debido a su origen biológico y se transforman en materia orgánica, debido a la acción de diversos microorganismos. Los residuos inorgánicos, son residuos no biológicos, son en su mayoría producto de algún proceso industrializado y su degradación es más lenta, generando un mayor impacto.
- Según su peligrosidad, se clasifican en residuos tóxicos y radioactivos.

5.2 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Son aquellos residuos de origen vegetal o animal, que se descomponen fácilmente en el ambiente. En este grupo se encuentran excrementos de animales, restos de frutas y verduras, y restos que componen la fracción orgánica proveniente de la preparación de alimentos, y demás provenientes de materia orgánica. Los residuos sólidos orgánicos se clasifican según su origen en residuos provenientes de la industria agrícola, con actividades pecuarias (generadas por el manejo de animales como el estiércol, gallinaza, etc), de agricultura (residuos vegetales de cosechas), manejo y transporte de frutas y verduras (bagazo, restos de cáscaras).

Los generados en sector industrial (residuos orgánicos de plazas de mercado, restaurantes, entre otros. Por último se encuentran domésticos, como restos de comida, y residuos de poda y jardinería. En el informe titulado *Characterization and Management of Food Loss and Waste in North America*, del año 2017, se plantea un modelo de cadena de valor que permite el aprovechamiento y recuperación de los residuos orgánicos. A continuación, se observa el modelo en la siguiente figura:

Figura 1. Jerarquía de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos



Fuente: *Characterization and Management of Food Loss and Waste in North America*. 2017

5.2.1 Problemáticas asociadas a los residuos sólidos orgánicos. Los residuos orgánicos tienen un fuerte impacto sobre el medio ambiente, alterando las condiciones del suelo, el agua y la atmósfera, debido principalmente a sus altos contenidos en materia orgánica y elementos minerales, y a la presencia de fitotoxinas y patógenos altamente contaminantes.

Su acumulación, se convierte rápidamente en un atractivo para plagas y vectores como mosquitos y ratas, que pueden transmitir enfermedades peligrosas. Los cuerpos de agua también se ven afectados, por la filtración de lixiviados, alterando su equilibrio químico. Además que producto de su rápida descomposición, se generan gases como metano y dióxido de carbono y malos olores.

5.3 MANEJO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

La historia del hombre y su relación con los desechos o comúnmente conocidos como basura ha sido muy poco estudiada. La caza y actividades que permitieron acabar paulatinamente con el sedentarismo, generaron las primeras acumulaciones de residuos en la historia. Esto se solucionaba, enterrándolos o

alejándolos de sus hogares. La gestión de los residuos fue un aspecto clave en muchas comunidades.

Los griegos han sido pioneros en este tema, según Peggy Ayres, investigadora dedicada a la historia de los desechos, afirmó que en Grecia se sentaron las primeras bases para su gestión. En Atenas, hace más de tres mil años, se exigía que la basura debía ser enterrada a una distancia de más de 1 Km de las zonas urbanas. Surgen entonces, los primeros vertederos. Esta solución aparentemente práctica y sencilla, ha perdurado a lo largo del tiempo y es utilizada actualmente en muchas partes del mundo.

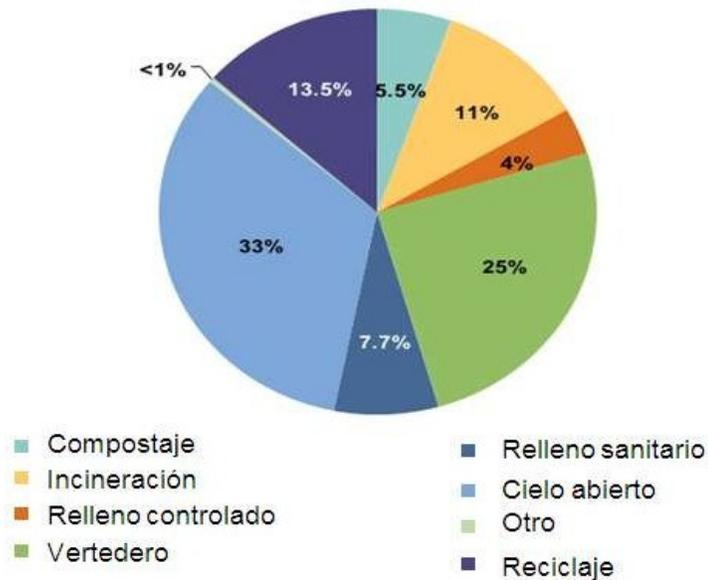
El tratamiento para el manejo de las basuras en todo el mundo es similar, la diferencia radica en la tecnología aplicada y la cultura hacia su tratamiento. Los métodos más utilizados para el manejo y tratamiento de residuos son: la biometanización, que es un proceso anaeróbico, es decir en ausencia de oxígeno, que permite obtener biogás, a partir de una transformación biológica al que se ven sometidos los residuos orgánicos.

La disposición final controlada, como lo que ocurre en los rellenos sanitarios, y la no controlada como en los vertederos y la disposición de materia residual a cielo abierto. Otras técnicas utilizadas también, son la incineración, la pirolisis y la gasificación. Y entre los métodos que permiten su aprovechamiento se encuentran, el compostaje, que se define como un proceso aeróbico controlado, mediante el cual los residuos orgánicos se transforman en compost, y el reciclaje.

Colombia presenta tasas muy bajas, en materia de reciclaje y aprovechamiento de sus residuos, en comparación de países europeos como Alemania y Holanda, reciclan hasta un 95 por ciento de la basura que producen. En Colombia la cifra llega tan solo al 17%. Según el informe del Banco Mundial del año 2018, titulado *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, con respecto al tratamiento y eliminación global de residuos, el 33%, corresponde a la disposición de los residuos a cielo abierto, seguido del 25%, con su disposición en vertederos, el 13,5% corresponde al reciclaje, el 11% a la incineración, el 7,7% a rellenos sanitarios, el 5,5 % con la técnica del compostaje, el 4% corresponde a los rellenos controlados y finalmente el 1% a otras técnicas.

Lo anterior se evidencia en la siguiente gráfica, llegando a la conclusión que la mayoría de residuos a nivel mundial, no están siendo tratados de manera adecuada, pues la técnica más utilizada es la disposición a cielo abierto y en vertederos. No obstante, persisten los sitios de enterramiento, botaderos a cielo abierto y las celdas transitorias.

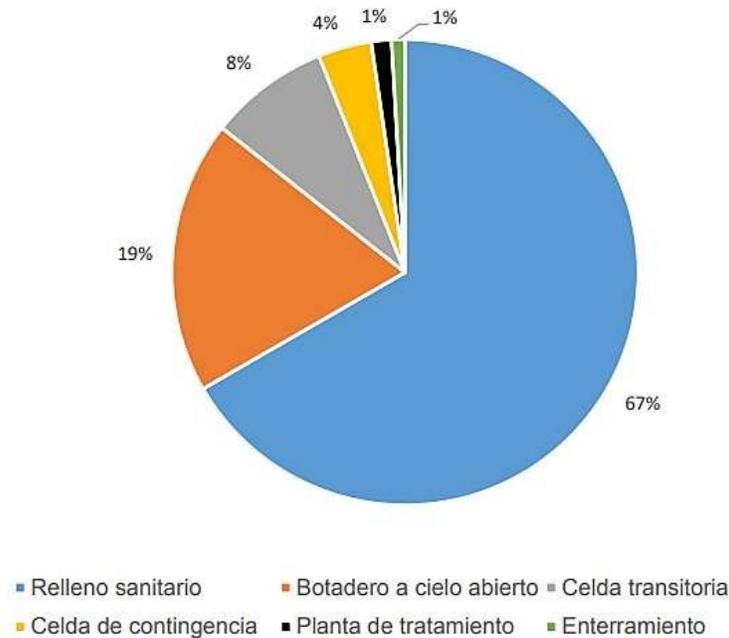
Gráfica 1. Tratamiento y eliminación global de residuos



Fuente: Informe What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050

5.3.1 Colombia y la gestión de sus residuos. Según el Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos del año 2017, en Colombia se generaron alrededor de 30.081 toneladas de residuos por día. Como se puede observar en el gráfico a continuación, con respecto a los sistemas de disposición final de residuos en Colombia, el 67% de los residuos, fueron depositados en rellenos sanitarios, el 19% en botaderos a cielo abierto, seguido de un 8% en celdas transitorias, un 4% en celdas de contingencia, el 1% de los residuos fueron enterrados, y el tan sólo el 1% fueron dispuestos en plantas de tratamiento. Logrando concluir, que el sistema de disposición final predominante en el país es el relleno sanitario

Gráfica 2. Distribución de sistemas de disposición final de residuos en Colombia



Fuente: Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos. 2017

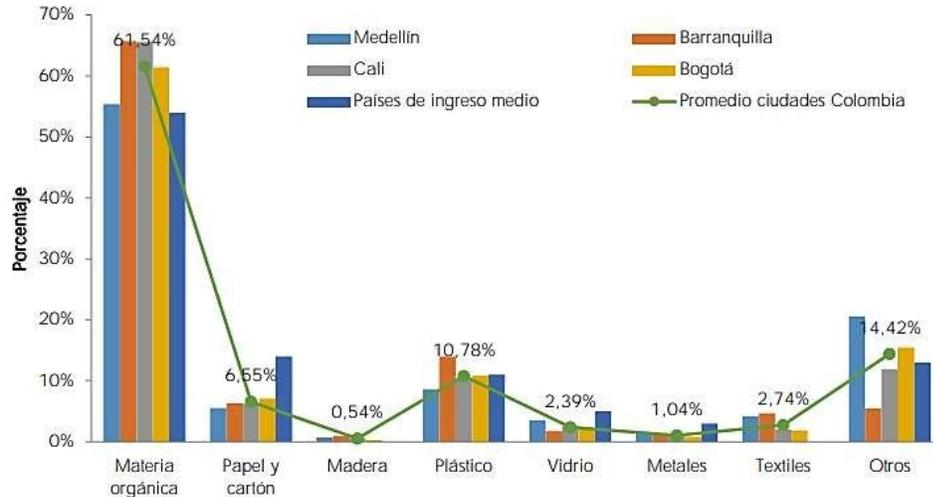
Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, los sitios de disposición final de residuos, se clasifican en dos: autorizados y no autorizados. Se tienen en cuenta factores como el seguimiento ambiental, licencias, y si se reconocen como alternativas de disposición final según la normatividad. Entre los sistemas de disposición final autorizados, se encuentran los rellenos sanitarios, las plantas de tratamiento y celdas de contingencia. Mientras que en los sistemas de disposición final no autorizados, se presentan las celdas transitorias, botaderos a cielo abierto, enterramiento, vertimiento a cuerpos de agua y la quema de residuos sólidos.

Según el Informe de disposición final de residuos sólidos del año 2017, el país cuenta con 144 rellenos sanitarios, 8 celdas de contingencia y 3 plantas de tratamiento. Con respecto a los sistemas de disposición no autorizados se cuentan con 41 botaderos a cielo abierto, 18 celdas transitorias y 2 sitios de enterramientos

Con respecto a la caracterización de sus residuos, en Colombia se producen en mayor proporción residuos sólidos orgánicos. Como se observa en la siguiente gráfica, en donde se encuentra la caracterización de residuos, en las principales

ciudades del país, para el año 2015, con lo cual representan en mayor porcentaje en todas las ciudades, materia orgánica.

Gráfico 3: Caracterización de residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia



Fuente: Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. CONPES 3874. 2016

En Colombia, el problema raíz asociado al manejo y aprovechamiento de residuos, está relacionado con la educación hacia el manejo adecuado de los residuos. Ya que si no se realiza una separación en la fuente correcta, estos pierden en gran parte su valor comercial. Por este motivo, se considera fundamental, los programas orientados hacia una adecuada separación en la fuente, ya que es la base para lograr su tratamiento y aprovechamiento, y evitar que terminen su ciclo, en un relleno sanitario.

La gestión integral de residuos sólidos contempla el conjunto de acciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado, teniendo en cuenta su origen, su ciclo de vida, su porcentaje de recuperación, su aprovechamiento para su posterior comercialización. Estas acciones deben ir enfocadas a la reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, tratamiento y transformación, separación en la fuente, su reciclaje, hasta finalmente llegar a una disposición final controlada. Por este motivo, una adecuada gestión integral de residuos sólidos orgánicos, permitirá disminuir los impactos de estos en el ambiente y generar productos altamente aprovechables.

En general en Colombia los residuos son clasificados en las siguientes categorías para su disposición:

- ✓ Residuos no reciclables: Se encuentran los ordinarios y orgánicos.
- ✓ Residuos Reciclables: como el papel y cartón, plástico, chatarra y vidrio.
- ✓ Residuos Peligrosos: Como los que provienen de centros hospitalarios y actividades de alto riesgo biológico, entre otros.

5.3.2 El Huila y la gestión de sus residuos. Como se evidencia en el siguiente mapa sobre el estado de la disposición final autorizada de residuos en el país, en el departamento del Huila, más del 90% de sus municipios cuentan con disposición final en sitios autorizados.

Figura 2. Mapa del estado de la disposición final autorizada por departamentos en Colombia



Fuente: Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos.2017

El departamento del Huila, cuenta con dos rellenos sanitarios; el Relleno sanitario Los Ángeles, que atiende a los municipios del norte y centro del departamento, y el Relleno sanitario Biorgánicos del Sur del Huila S.A. E.S.P, que como su nombre lo indica, atiende a la totalidad de los municipios del sur del Huila.

Según el Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos para el año 2017 en el departamento del Huila, se generaron en promedio 520 toneladas diarias de estos residuos. Y la cantidad promedio de toneladas de residuos al día que fueron dispuestas en el Relleno sanitario Los Ángeles, fue de 281,8 toneladas.

En materia de generación de residuos sólidos orgánicos, los principales focos los constituyen los hogares, restaurantes y plazas de mercado, y algunas actividades agropecuarias, en donde se generan restos de cosechas y cultivos, y excremento de algunos animales.

5.4 TÉCNICAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Muchas culturas ancestrales vieron en sus restos orgánicos, un potencial, que podría ser aprovechado en sus cultivos. Notaron, que al arrojar los restos de verduras, frutas, hojarasca y otra materia orgánica al suelo, se generaban condiciones aptas para el crecimiento de sus cultivos, y el suelo mejoraba considerablemente sus condiciones. Así que se siguió de generación en generación esta tradición. En la actualidad, existen técnicas especializadas para generar un producto más higienico y estable, tales como el compostaje y la biometanización.

Toda la materia orgánica sufre un proceso de descomposición natural, sin embargo, mediante una serie de técnicas, se puede acelerar estas condiciones, y obtener productos aprovechables, como el compost o abono orgánico. Esta descomposición, puede ser aeróbica, (es decir en presencia de oxígeno, como el compostaje y el vermicompostaje, entre otras) o anaeróbica (en ausencia de oxígeno, como la biometanización). Los residuos pueden ser de origen animal, como el estiércol, humus de lombriz, huesos, entre otros, y de origen vegetal, como hojas, restos de frutas y verduras, y subproductos de actividades agrícolas.

Entre las técnicas más utilizadas para el tratamiento y aprovechamiento de estos residuos, se encuentran:

5.4.1 Vermicompostaje: Es el proceso mediante el cual los residuos sólidos orgánicos, se descomponen por la acción biológica de las lombrices detritívoras, como la lombriz roja. El producto de este proceso es el humus de lombriz, el cual es rico en nutrientes y materia orgánica.

En Colombia, el municipio de Cajicá, logra aprovechar aproximadamente 350 toneladas de desechos orgánicos, mediante el vermicompostaje, y así producir abono orgánico, que es usado por los agricultores de la zona. Gracias a este proceso, se ha logrado una tasa del 30% de reciclaje, un porcentaje significativo. Este modelo sostenible, fue reconocido por la Organización de las Naciones Unidas.

5.4.2 Biometanización: Es un proceso anaeróbico, que permite la transformación de estos residuos por medio de digestores y plantas de tratamiento, obteniendo

como resultado biogás, que es una mezcla de gases, como el dióxido de carbono y metano, utilizado como combustible.

5.4.3 Compostaje: Es un proceso aeróbico y controlado de degradación de materia orgánica, gracias a la acción de microorganismos y bacterias, para la obtención de un producto estable y homogéneo, denominado, compost o abono orgánico. La temperatura, juega un papel fundamental durante este proceso, ya que permitirá la estabilización del producto obtenido.

El compostaje presenta cuatro fases definidas, las cuales son:

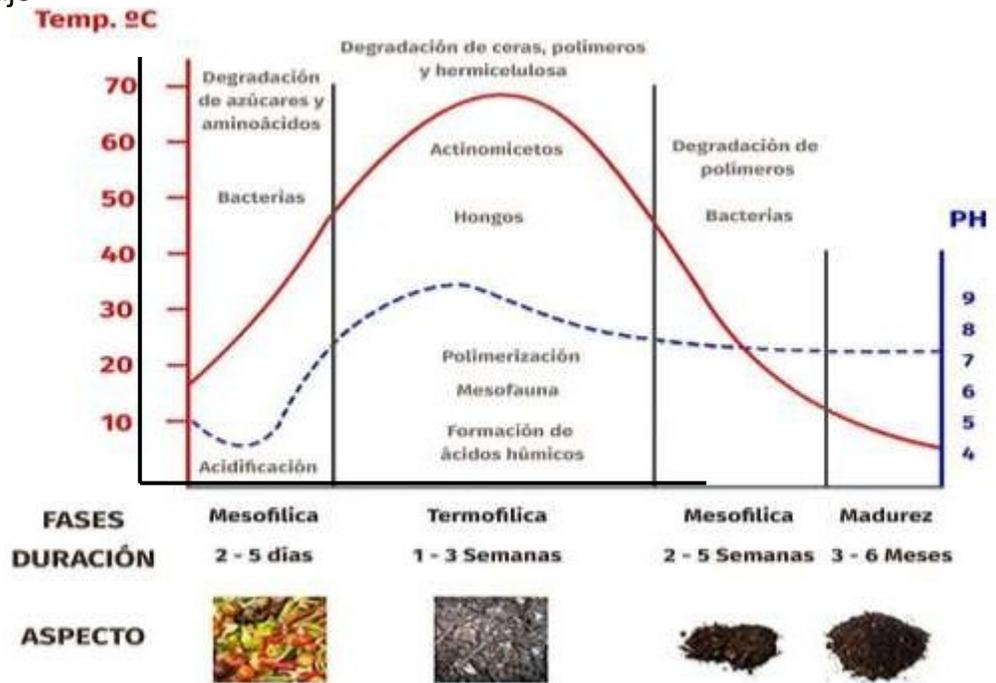
54.3.1 Fase mesófila: Esta fase, se denomina así, debido a la proliferación de bacterias mesófilas, las cuales necesitan una temperatura entre los 20°C y los 45°C para su crecimiento y consumir todas las proteínas y azúcares presentes en el medio. Como consecuencia de esta actividad metabólica, se eleva la temperatura. Además, el pH disminuye, ya que se generan ácidos orgánicos, producto de la descomposición de estos compuestos. Este proceso, puede tardar entre una a dos semanas.

54.3.2 Fase termófila: La temperatura en esta fase aumenta considerablemente hasta alcanzar valores de 60°C a 70°C. El pH asciende debido a la acción de los microorganismos termófilos quienes transforman el nitrógeno en amoníaco. Gracias a este aumento de temperatura, se destruyen organismos fitopatógenos, además se da la inhibición de semillas presentes. Por lo anterior, también esta fase se conoce como higienización. En esta etapa, se producen iones como los de calcio, magnesio y potasio. La demanda de oxígeno es alta. Depende de la composición de los residuos, y las condiciones climáticas, este proceso puede tardar un periodo de tres semanas a meses.

54.3.3 Fase de enfriamiento y maduración: En esta etapa, los nutrientes ya han disminuido considerablemente, por lo tanto la actividad biológica de los microorganismos termófilos empieza a disminuir, y con esta, la temperatura también disminuye, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Desaparecen aquí los microorganismos termófilos, y aparecen de nuevo los mesófilos, quienes reinician su actividad y degradan toda la celulosa y nutrientes restantes, convirtiéndolos en sustancias húmicas.

La maduración del compost se da a temperatura ambiente, y aquí se intensifica la producción de ácidos húmicos y fúlvicos. Tiene una duración de tres a nueve meses, según las condiciones climatológicas. El pH del compost maduro, oscila entre 7.0 y 8.0, es decir es neutro. En el gráfico a continuación, se observa la relación de variables como la temperatura, disposición de oxígeno y pH, durante el proceso del compostaje.

Gráfica 4. Relación de la temperatura, oxígeno y pH, durante el proceso de compostaje



Fuente: Farmer's compost handbook experiences in Latin America. FAO. 2015

5.5 EL ABONO ORGÁNICO

Según la Norma Técnica Colombiana 5167, un abono orgánico es definido como *-un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.-*

Así como el ser humano necesita nutrientes esenciales, las plantas también deben garantizar las cantidades mínimas de estos para su correcto desarrollo. Estos nutrientes se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes, son aquellos requeridos en grandes cantidades, y por eso es importante que el suelo cuente con una cantidad suficiente de estos, y fomentar prácticas de agricultura sostenible.

Dentro del grupo de los macronutrientes, se encuentran el potasio, el fósforo y el nitrógeno. El nitrógeno es esencial para el proceso de desarrollo y formación de raíces y órganos reproductores. el fósforo juega un papel fundamental en la fotosíntesis y también en el desarrollo de los tejidos. El potasio, permite la

activación de enzimas, y participa en la síntesis de carbohidratos y proteínas de las plantas.

A diferencia de los macronutrientes, los micronutrientes, son requeridos en cantidades mínimas para el crecimiento de las plantas. Entre estos, se encuentran el hierro, zinc, manganeso, molibdeno, cobre, cloro y el boro. (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Ellos también son sustancias claves en el crecimiento de la planta.

Los abonos orgánicos, según su estado, pueden clasificarse en sólidos y líquidos. Entre los sólidos, se encuentran el Bocashi, el cual se basa en procesos de descomposición aeróbica, y es elaborado a base de desechos vegetales o estiércol. El humus de lombriz, el cual es un abono orgánico muy rico en nutrientes, como el nitrógeno, es producto del proceso digestivo de la lombriz roja. La turba, también integra el conjunto de este tipo de abonos y se forma en las turberas, o como producto de la descomposición de plantas en un medio saturado de agua.

Según el origen de los desechos, se pueden clasificar en abonos orgánicos de origen animal y de origen vegetal. Los primeros provienen de los residuos de restos en la industria alimentaria, y en su mayoría se incluyen las escamas, sangre, huesos, entre otros. Y además se pueden aprovechar el estiércol de muchos animales, ya que aportan gran cantidad de materia orgánica al suelo, y favorecen la aparición de microorganismos. Entre estos residuos, se encuentra la gallinaza, el guano, las heces provenientes de ovejas, caballos, cabras, cerdos y conejos.

También, el humus de lombriz, aporta gran cantidad de nutrientes y materia orgánica. La aparición de bacterias como *Escherichia coli* en algunas frutas y hortalizas, ha sido una de las barreras al uso de este tipo de residuos como fertilizantes. En cuanto a los abonos de origen vegetal, se utilizan residuos como hojas, restos de frutas y verduras, y subproductos de actividades agrícolas, los cuales aportan una cantidad significativa de fósforo, nitrógeno y calcio.

5.5.1 Propiedades y beneficios de los abonos orgánicos. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el abono orgánico natural se define como un *-producto debidamente compostado y estabilizado que al ser aplicado al suelo activa principalmente los procesos microbiales, fomentando simultáneamente su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad y aportando pequeñas cantidades de nutrientes.*"

El uso de abonos orgánicos, tiene los siguientes beneficios:

- Permiten cerrar el ciclo de los residuos sólidos orgánicos, y disminuir la cantidad que llega al relleno sanitario
- Contribuyen a recuperar los suelos degradados
- Apoyan y fomentan la agricultura ecológica
- Permiten disminuir el uso de fertilizantes químicos
- Regulan las características físico-químicas del suelo, aumentando su fertilidad
- Favorece el intercambio catiónico en el suelo, liberando nutrientes con mucha facilidad
- Incentivan la producción de alimentos orgánicos, los cuales al ser libres de fertilizantes agroquímicos, se convierten en una opción saludable
- Disminuyen los impactos de los residuos sólidos orgánicos, los cuales son un foco para vectores, como moscas y ratones, causantes de la transmisión de enfermedades
- Incentivan la participación de todos los actores de la cadena de valor, desde los hogares y otros focos de generación, hasta las empresas que se encargan de su transformación
- Promueven una cultura de consumo y producción responsable
- Disminuyen considerablemente los costos de producción en cultivos

5.5.2 Parámetros de calidad del abono orgánico. Para garantizar la obtención de un producto homogéneo, higiénico y estable, se deben garantizar el cumplimiento de todas las condiciones biológicas, físicas y químicas. Los parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana 5167, para el abono orgánico, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos

Parámetro	Expresado como	Unidades	NTC 5167 para enmienda orgánica
Nitrógeno	N total	%	< 1.0
Fósforo	P ₂ O ₅	%	< 1.0
Potasio	K ₂ O	%	< 1.0
Sodio	Na	%	
Calcio	CaO	%	
Magnesio	MgO	%	
Zinc	Zn	%	
CRA	CRA	%	Minimo su propio peso
CIC	CIC	meq / 100 g	Minimo 30
Humedad	Humedad	%	Máximo 20-35
pH	pH	-	> 5.0
Conductividad	Conductividad	mS / cm	
Carbono orgánico	C.O	%	Minimo 15
Cenizas	Cenizas	%	Máximo 60
Relación C / N	Rel. C/N	-	
Densidad	Densidad	g / cc	Máximo 0.6

Fuente: Norma Técnica Colombiana 5167. 2004

Y los límites máximos en mg/Kg (ppm)) de los metales pesados, según Norma Técnica Colombiana 5167, son los siguientes:

Tabla 2. Límites máximos en mg/kg (ppm) de metales pesados (en base seca), según la Norma Técnica Colombiana 5167 para abonos orgánicos

Parámetro	Unidades	Valores establecidos NTC 5167
Arsénico (As)	mg/kg (ppm)	41
Cadmio (Cd)	mg/kg (ppm)	39
Cromo (Cr)	mg/kg (ppm)	1 200
Mercurio (Hg)	mg/kg (ppm)	17
Níquel (Ni)	mg/kg (ppm)	420
Plomo (Pb)	mg/kg (ppm)	300

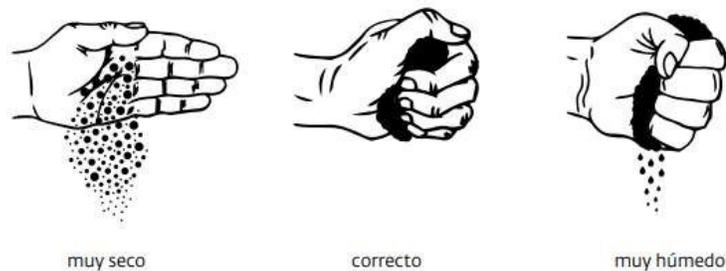
Fuente: Norma Técnica Colombiana 5167. 2004

Con respecto al aspecto físico, se deben evaluar variables como la densidad, granulometría, color, porosidad, humedad, olor y presencia de material extraño. En las condiciones químicas, se deben evaluar la presencia de nutrientes, la velocidad de mineralización, el contenido y la estabilidad de su materia orgánica. Y los parámetros biológicos que deben ser evaluados son la presencia de patógenos, otros microorganismos y de semillas de cualquier tipo. Debe existir un monitoreo constante de cada variable. A continuación su descripción:

5.5.2.1 Humedad: Durante el proceso, el porcentaje de humedad debe oscilar entre 60% y 75% y finalizar entre un rango del 20% a un 30%. Esta variable, es de gran importancia, ya que permite la proliferación de microorganismos. De manera cualitativa, se puede medir esta variable, con una técnica que la FAO aprueba, conocida como «técnica del puño cerrado», en la cual se extrae un puñado del material, y se debe observar si se escurre agua o no, o se queda pegado. Si hay exceso de humedad, el agua se escurrirá, y si no, el material se quiebra y se desborona.

Un alto valor de humedad, generará una descomposición acelerada, llegando a niveles de putrefacción, además de malos olores y presencia de moscas y vectores.

Figura 3. Medición de la humedad en la mezcla mediante la prueba de puño.



Fuente: Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Alcaldía Mayor de Bogotá

5.5.2.2. Aireación: Al ser el compostaje un proceso aeróbico, este parámetro es muy importante, ya que del oxígeno, dependen muchos de los procesos metabólicos de los microorganismos. Si no se suministra el suficiente oxígeno, el material puede llegar a un estado de putrefacción, un cese del proceso de degradación y por tal motivo, el producto será de menor calidad. El porcentaje de oxígeno en las pilas no debe ser menor al 5% ni mayor al 10%. En procesos con pilas, el volteo permite controlar estas condiciones. Y la relación con la

temperatura es directa, ya que a mayor consumo de oxígeno, mayor temperatura tendrá la mezcla

5.523 Relación C/N: Esta relación es evidencia del grado de transformación de los materiales presentes. El Carbono (C), es el encargado de suministrar la energía necesaria a los microorganismos, mientras que el nitrógeno(N), permite la síntesis de proteínas. Por este motivo, es de vital importancia que el mezclado sea homogéneo. La relación, a la cual se encuentra un equilibrio en el resultado final, es de 30/1 (30 Carbonos por cada Nitrógeno), aunque puede depender de la composición de la materia prima.

5.524 pH: Esta variable, depende en gran medida del tipo de residuos utilizados, y tiene una influencia directa en todos los procesos microbianos. Durante todo el proceso, este valor es variable. El pH en la fase inicial, desciende debido a la formación de ácidos grasos. En la fase termófila, el pH aumenta y finalmente, se estabiliza en la etapa final, en donde el compost o abono maduro, debe llegar a un pH cercano a 7, es decir neutro. Una disminución en el pH, puede generar malos olores y presencia de moscas. Por este motivo, es necesario una aireación y nivel de humedad adecuados.

5.525 Fraccionamiento y tamaño de la materia orgánica: Es de gran importancia garantizar que toda la mezcla sea homogénea. Para esto, la materia prima, en este caso, los residuos, deben ser triturados previamente, de forma manual o con maquinaria especializada. La trituración previa de los residuos, acelera el proceso de descomposición. El tamaño del material final, debe ser menor a 10 mm.

Tabla 3. Parámetros en el proceso de producción de abonos orgánicos

Parámetro	Rango inicial	Rango durante el proceso	Rango final
pH	4 - 5,5	6,5	7-8
Humedad	60 -75 %	50 %	20-30 %
Temperatura	Ambiente	Máx. 60-65 °C	Ambiente
Tamaño de las partículas	1 -5 cm	1-2 cm	Max. 0,5 cm
Relación C/N	Variable*	25/1	30/1

*Depende de la composición de las materias primas a utilizar.

Fuente: Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica. Instituto Colombiano Agropecuario

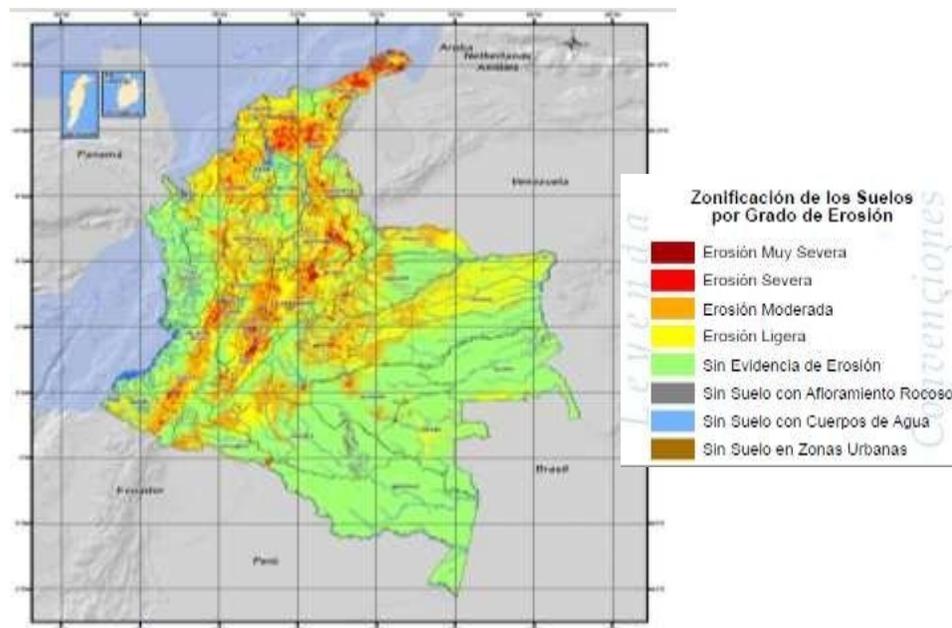
Con respecto a los niveles máximos de patógenos, la Norma Técnica Colombiana 5167, establece los siguientes valores; para la Salmonella sp, debe estar ausente en 25 g de producto final. Las enterobacterias totales, deben ser menos de 1000 UFC/g del producto final. Si alguna de las materias primas es de origen vegetal, deberán estar exentos de fitopatógenos de los géneros: Phytophthorasp; Fusarium

spp; *Botrytis* sp; *Rhizoctonia* sp; y de nemátodos fitopatógenos. Si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos, debe declararse el recuento de microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras.

5.5.3 El abono orgánico y su rol fundamental en la agricultura. Colombia cuenta con un gran potencial agrícola, debido a múltiples factores como sus condiciones climatológicas y diversidad topográfica, entre otros. De acuerdo con el informe de —Perspectivas agrícolas 2019-2028II, de la OCDE y la FAO, Colombia se proyecta como una despensa de alimentos a nivel mundial. Siendo esto una gran oportunidad para seguir fortaleciendo estos procesos, y encaminarlos hacia prácticas más rentables y ecológicas.

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia se caracteriza por tener en gran parte suelos ácidos, y suelos derivados de las cenizas volcánicas, con alta deficiencia de nutrientes como el fósforo. Como resultado del estudio nacional de la degradación de suelos en Colombia por erosión, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y realizado por el IDEAM, El 40% del territorio del país, presenta algún grado de erosión. Como se puede observar en el siguiente mapa:

Figura 4. Mapa del estado de la degradación en los suelos por erosión en Colombia



Fuente: Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental - IDEAM, Grupo de Suelos y Tierras, 2015. Cartografía Básica - IGAC, 2012

Como se puede observar, el departamento del Huila, presenta zonas entre erosión ligera a muy severa. Entre las múltiples causas que ocasiona la erosión, se encuentran las prácticas inadecuadas de manejo del suelo, las cuales generan considerables pérdidas de materia orgánica en estos, además de la pérdida de la capa vegetal.

La agricultura convencional, se ha caracterizado por ser un modelo de producción intensivo, es decir lograr maximizar la producción de los terrenos a un corto plazo. Si bien las cantidades obtenidas suelen ser altas, el suelo se ve altamente deteriorado por esta práctica, ya que pierde sus nutrientes esenciales y se alteran severamente sus características físico-químicas. El uso desmedido de fertilizantes químicos, también genera erosión y la disminución de la capacidad de retener estos nutrientes, además que representan un alto costo en la producción, implicando así una pérdida de rentabilidad.

Los abonos orgánicos representan una opción sustentable, y la base hacia prácticas de agricultura ecológica. En donde se aumentan los acondicionadores orgánicos del suelo, y se fomenta la producción de alimentos limpios u orgánicos. La agricultura ecológica es definida por el Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural como: *-Todos los sistemas agrícolas que promueven la producción ambiental, social y económicamente sostenible de alimentos, los cuales debe ocurrir sin la utilización de insumos de síntesis química y tomando la fertilidad del suelo como un elemento fundamental para la producción exitosa, respetando la capacidad natural de las plantas, los animales y los suelos, para optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y el ambiente.*"

Es fundamental lograr un equilibrio en todos los nutrientes que las plantas necesitan, para esto, los abonos orgánicos juegan un papel fundamental, ya que no solo permiten mejorar la fertilidad del suelo a largo plazo, y la recuperación de zonas productivas, sino una disminución de los costos de producción. La rotación de cultivos y su diversificación, permite hacer frente a plagas y evitar la erosión. Para determinar la cantidad de abono orgánico a utilizar, es recomendable un análisis previo de las condiciones físicas y químicas del terreno, o del tejido foliar. De estos resultados, dependerá la cantidad a aplicar por hectárea.

5.5.4 Fertilizantes químicos vs abonos orgánicos: Aunque milenariamente los abonos orgánicos han sido utilizados como fertilizantes, estos presentan un inconveniente para el paradigma que acoge la época actual; sus efectos son de lenta absorción y por la tanto la inmediatez no representa una ventaja en este tipo de abonos. Por este motivo los fertilizantes químicos, se han convertido en una opción para la mayoría de cultivos. Desde la síntesis de la urea, realizado por Friedrich Wöhle, y otros descubrimientos, se han elaborado múltiples combinaciones de estos suplementos, dando origen a los fertilizantes químicos.

Los fertilizantes químicos, son de origen inorgánico, y contienen al menos uno de los elementos nutritivos esenciales para el desarrollo vegetal. Pueden ser extraídos de la tierra, como en yacimientos mineros, o elaborados mediante procesos de síntesis. Se clasifican en simples y compuestos. Los simples, están provistos de solo uno de los macronutrientes (fósforo, potasio o nitrógeno), y los compuestos, se clasifican a su vez en binarios, si tienen al menos dos de los macronutrientes, y los ternarios, son una mezcla de estos tres. Se encuentran también en presentación líquida.

Tanto los fertilizantes químicos como los abonos orgánicos, se encargan de brindar los nutrientes necesarios al suelo, para un adecuado desarrollo de las plantas. Los fertilizantes químicos presentan las siguientes ventajas sobre los abonos orgánicos; tienen mayor solubilidad, lo que permite que los nutrientes se encuentren disponibles de manera inmediata para las plantas. Por ser un proceso industrial, los fertilizantes presentan una composición fija y homogénea, mientras que el proceso artesanal de los abonos orgánicos, genera una variación en su composición y al ser provenientes de desechos orgánicos, puede aparecer elementos extraños y metales pesados.

La elevada concentración de nutrientes y la baja humedad en los fertilizantes químicos, constituyen también una ventaja de estos productos, generando una reducción de costos en su transporte y aplicación. Sin embargo un excesivo uso de estos fertilizantes, generan no solo consecuencias al medio ambiente, sino a la salud. La filtración del exceso de nitratos en cuerpos de agua, genera enfermedades asociadas a un alto nivel de estos en el organismo.

Los riesgos medioambientales asociados a estos fertilizantes, incluyen además, la contaminación del agua por infiltración de nutrientes, y de metales pesados, la eutrofización, alteración del pH del agua y del suelo, aumento de la erosión y pérdida de fertilidad en este. Y los desechos originados durante su proceso de producción son altamente contaminantes.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Colombia es uno de los países, que más cantidad de fertilizantes usa por hectárea cultivada. Lo que repercute negativamente en el suelo apto para la agricultura. Por este motivo, es de vital importancia, la transición paulatina hacia una agricultura orgánica y sostenible.

5.6 ANÁLISIS DEL SECTOR

A pesar de que la agricultura colombiana, se caracteriza por un uso intensivo de fertilizantes químicos por hectárea, el mercado de los abonos orgánicos, está tomando cada vez mayor importancia, debido a factores como el aumento en el consumo de productos orgánicos y mayores controles para procesos de exportación, que exigen al productor, el uso de fertilizantes orgánicos en sus cultivos.

Según Fedeorgánicos Colombia produce entre 900.000 y 950.000 toneladas de abonos orgánicos, de los cuales el compost representa 90% del total, mientras que 10% restante es lombricompost. Esta cifra es aún reducida, para satisfacer la demanda en aumento de los productos orgánicos. Ya que su rol es fundamental en la cadena de valor de la agricultura orgánica. Colombia viene incursionando en el mercado de productos agrícolas orgánicos, desde el año 1998. Estos productos, muchas veces presentan un precio elevado, lo que hace que su comercialización, dependa de muchos factores.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, mediante la resolución Ministerial 0148 de 2004, creó el Sello de alimento ecológico, el cual es requerido para lograr la certificación orgánica, en donde se debe verificar que el proceso de producción se ajuste a las normas solicitadas, a través de un entidad reguladora. Los principales destinos de exportación de estos productos, son Reino Unido, Japón, Canadá, España Estados Unidos, Holanda, Alemania y Bélgica

El Plan Nacional de Negocios Verdes, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define los negocios verdes como toda actividad económica que involucre la producción con impactos ambientales y sociales positivos. Se planteó, que para el año el año 2025 este tipo de negocios estará posicionado como un nuevo renglón estratégico de impacto en la economía del país.

Colombia se destaca en la producción orgánica de productos como el café, frutas tropicales, aromáticas, palmito silvestre, banano, cacao, entre otros. El Huila, se destaca en la producción orgánica de productos como café, caña panelera y frutas tropicales. Por este motivo, el crecimiento del mercado de abonos orgánicos, es fundamental, para el fortalecimiento de este sector, y sus requerimientos para su exportación.

Los abonos orgánicos en Colombia, deben cumplir con los requisitos y características establecidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004, la cual regula sus condiciones técnicas, para su producción y comercialización y los métodos de análisis cualitativos y cuantitativos empleados en el control de calidad. Los requerimientos específicos para el rotulado de estos productos, se

encuentran en la Norma Técnica Colombiana NTC 40, las condiciones de etiquetado se presentan a continuación:

Figura 5. Etiqueta para abonos o fertilizantes o enmiendas o acondicionadores orgánicos sólidos

Nombre, marca o logotipo de la compañía titular del registro

Nombre o marca comercial del producto

CLASE DE PRODUCTO (NTC 5167)

TIPO DE FORMULACIÓN

USO AGRÍCOLA O USO EN JARDINERÍA

REGISTRO DE VENTA No. ____ A NOMBRE DE: (Nombre del titular)

COMPOSICIÓN GARANTIZADA:

Carbono orgánico oxidable total..... %

Aminoácidos libres (si es el caso) %

Carbono de extracto húmico total (CEHT) %

Carbono de ácidos húmicos (CAH) ____ %

Carbono de ácidos fúlvicos (CAF) ____ %

Cenizas %

CIC (Capacidad de intercambio catiónico) mEq/100 g

Capacidad de retención de humedad %

Conductividad eléctrica (1:200) dS/m

Nitrógeno total (N) %

Nitrógeno amínico (N) ____ %

Nitrógeno amoniacal (N) ____ %

Nitrogeno nítrico (N) ____ %

Nitrógeno orgánico (N) ____ %

Nitrógeno ureico (N) ____ %

Fósforo total (P₂O₅) %

(ó Fósforo asimilable (P₂O₅) %

(Otros nutrientes, si se desea garantizarlos)

Sodio (Na) máximo %

Humedad %

pH

Densidad a 20 °C g/cm³

Contenido de metales pesados

Contenido de patógenos:

- *Salmonella* spp
- Coliformes totales
- Huevos de helminto viables

FUENTES Y PROCESO DE OBTENCIÓN:

"Para la venta y aplicación de este (abono o fertilizante o enmienda o acondicionador orgánico) es recomendable la prescripción de un Ingeniero Agrónomo con base en el análisis de suelos o del tejido foliar"

PESO NETO: Kg o g

PRODUCIDO (IMPORTADO) POR:
 NOMBRE DE LA EMPRESA
 DIRECCIÓN
 TELÉFONO – FAX
 CIUDAD

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 40. Abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Etiquetado

Se debe realizar un monitoreo constante de las variables, explicadas en el capítulo para garantizar propiedades físico químicas del abono. Para la comercialización legal, se requiere una licencia expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Se debe realizar además, una prueba para la detección de Salmonella sp en abonos orgánicos mediante la prueba ELISA, (3M Tecra Salmonella Visual Immunoassay) bajo la norma técnica colombiana ICONTEC (NTC 5167).

Según la base de datos del ICA, a diciembre del año 2019, existen 315 empresas en Colombia, que producen o comercializan abonos orgánicos. En el departamento del Huila, las empresas con mayor participación en la venta de abonos orgánicos, son: Organiabonos S.A.S en La Plata, *Biorgánicos del Sur* del Huila S.A E.S.P, ubicada en el Kilómetro 8, vía Pitalito- San Agustín, donde se procesa el material orgánico de los 9 municipios del departamento y la Asociación de productores de abono orgánico, Paocos en San Agustín. Estas empresas utilizan en su mayoría, sistemas abiertos de compostaje, en pilas.

Otros productos, que pueden considerarse como competencia indirecta, son los biofertilizantes, cuya composición se basa principalmente en microorganismos benéficos para suelo. En este grupo, se encuentran las micorrizas, definidas como asociaciones entre hongos y las raíces de las plantas, favoreciendo su crecimiento. Estos productos, toman también fuerza en el mercado de fertilizantes orgánicos, ya que aportan nutrientes esenciales y materia orgánica, y favorecen la activación de la flora microbiana del suelo.

5.7 UNA APUESTA A LA AGRICULTURA ORGÁNICA

La agricultura orgánica es un proceso integral, que comprende el conjunto de actividades y técnicas agrícolas, como el uso de insumos naturales, la rotación de cultivos, y rechaza el uso de fertilizantes químicos. Los productos orgánicos, toman cada vez mayor participación en el mercado, haciendo que la su producción y comercialización sea incentivada.

La agricultura orgánica, representa una oportunidad rentable y sostenible. Además ofrece grandes oportunidades para pequeños productores. En el año 2002, en Colombia, se estableció por primera vez el término de -sistema de producción ecológicoll. Para comercializar los productos ecológicos, estos deben estar certificados por una entidad autorizada.

A nivel internacional, la IFOAM- Federation of Organic Agriculture Movements, es el ente encargado de supervisar y velar por el cumplimiento de la reglamentación de los productos orgánicos. Aunque el proceso es paulatino, las ventajas que trae este tipo de agricultura son muchas, y Colombia, al contar con todo el potencial, se deben fortalecer las políticas en esta área e incentivar este tipo de prácticas.

5.8 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ABONO ORGÁNICO

En la actualidad, existen diversos tipos de producción de abono orgánico, que van desde la una simple acumulación de residuos sin previo tratamiento, hasta complejas líneas de producción automatizadas, que permiten el tratamiento de un gran volumen de residuos y la generación de abono, en un menor tiempo. Según lo anterior, el proceso de elaboración de abonos orgánicos, se puede clasificar en artesanal, semi-industrial e industrial.

Para decidir el método más adecuado, se deben considerar variables como el volumen de residuos, la disponibilidad de estos, el tiempo de degradación, el espacio con el que se cuente, las condiciones climáticas del lugar donde se desarrolle la operación, los controles técnicos del proceso, disponibilidad de tiempo y mano de obra, y los costos de la operación.

En Colombia, este proceso se realiza en su mayor parte, de forma artesanal. Se realizan también procesos semi-industriales, con técnicas de sistemas cerrados, con el uso de composteras, y sistemas abiertos en pilas, cuando se dispone una mayor cantidad de residuos. Las plantas de tratamiento, incluyen maquinaria, en los procesos de triturado, empaclado y ocasionalmente en el volteo de las pilas. El proceso tiene una duración de uno a ocho meses, para la obtención del abono.

5.8.1 Proceso artesanal del abono orgánico: Este proceso incluye en su mayoría técnicas caseras de compostaje, para autoconsumo. Se realiza en espacios pequeños generalmente, como en viviendas y en fincas, en donde los residuos generados son almacenados en recipientes conocidos como composteras, hasta obtener el abono.

5.8.2 Proceso semi-industrial del abono orgánico: Si bien el proceso de compostaje, consta de ciclos biológicos, es posible lograr acortar por medio de técnicas, los periodos mínimos de estos ciclos. El principal factor sobre el cual es posible incidir, sin afectar la calidad del abono a obtener, es la aireación. La forma en la que se realiza el control de este parámetro, permite diferenciar las técnicas. Los procesos semi-industriales, se pueden llevar a cabo mediante sistemas de compostaje abiertos o sistemas de compostaje cerrados, siendo posible también una mezcla de ambos.

5821 Sistemas de compostaje abiertos o en pilas: Este sistema es ideal, cuando se dispone de un alto volumen de residuos. Luego de ser triturados, se disponen en pilas, las cuales pueden ser móviles o estáticas. En pilas móviles, se debe disponer de un espacio suficiente para permitir mover la mezcla en los volteos, que permiten una mezcla más homogénea, al reducir el tamaño de las partículas.

Mientras que en las pilas estáticas, el material apilado no se mueve, y la temperatura en ellas, es elevada. Aquí se puede llegar al riesgo de que el material se compacte, y la homogenización no se produzca adecuadamente, y el sistema de aireación es forzado mediante canales o bombas de aire comprimido. Por este motivo, muchos sistemas combinan técnicas de volteo con ventilación forzada, para una mayor eficiencia.

La duración de ambos procesos puede tomar de uno a seis meses, según las condiciones climatológicas, el origen de los residuos, y otros factores. El proceso semi-industrial, se presenta generalmente en plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, en donde el uso de maquinarias, se da en las etapas de trituración, empaçado y algunas veces en volteo de pilas.

Las etapas del proceso en una planta de tratamiento de abonos orgánicos, son:

- Recepción de residuos: en donde se realiza una inspección manual o semi mecanizada (con bandas transportadoras), para descartar cualquier elemento o material de naturaleza inorgánica.
- Trituración de residuos: con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas, y acelerar su proceso de descomposición. Se lleva a cabo por medio de un molino triturador para residuos orgánicos. Paralela a esta actividad, se realiza la recolección de lixiviados para su respectivo tratamiento.
- Aireación: al ser el compostaje un proceso aeróbico, esta etapa debe ser monitoreada constantemente para garantizar un buen producto. La aireación, como se mencionó anteriormente, se lleva a cabo en pilas, mediante el volteo de estas, o por inyección de aire comprimido (Bajo la pila de residuos, se instala un sistema de ventilación por una bomba de aire comprimido o por canales. Después que las pilas estén armadas, se procede a realizar un volteo periódico, y al monitoreo de cada una de las variables, como temperatura, Ph, y demás involucradas en el proceso.
- La estabilización de los residuos y su maduración, se refleja en las características físico químicas del producto. En esta etapa, la temperatura se iguala a la del ambiente, la pila está libre de olores, y con el porcentaje de humedad requerido.
- Tamizado: cuando el material ya esté listo, se somete a un proceso de selección física, para eliminar el material que no ha sido transformado, y el abono obtenga una granulometría apropiada.
- Empaquetado: el abono, es pesado y empaçado, para su posterior almacenamiento y comercialización.

En Colombia la empresa Control Ambiental de Colombia, cuenta con una planta para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, operando en sistemas abiertos y cerrados con maquinaria de última tecnología, que permite controlar el proceso de compostaje.

Figura 6. Planta de abonos orgánicos empresa Control Ambiental de Colombia



Fuente. Control Ambiental de Colombia

5822 Sistemas de compostaje cerrados. Estos sistemas van desde sistemas caseros simples como el uso de compostadores, hasta complejos sistemas de tambores automatizados. El compostador, es un recipiente que cuenta con las características adecuadas para realizar el proceso de compostaje. Existen compostadores plásticos, metálicos y de madera. Estas técnicas son ampliamente usadas generalmente para uso doméstico. Actualmente, la innovación en las composteras, es el diseño de contenedores fáciles de usar y de fabricar, y que permitan controlar olores y residuos generados.

En Colombia, la empresa Earthgreen Colombia S.A.S., desarrolló un sistema autónomo de compostaje, en donde por medio de compostadores plásticos, logra obtener abono orgánico en tan sólo 30 días. Durante este proceso, no se generan olores ni lixiviados. Su proceso, es acreedor de una patente.

Figura 7. Compostador desarrollado por la empresa Earthgreen Colombia S.A.S

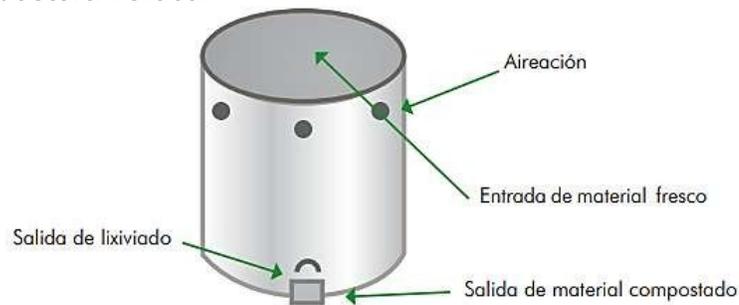


Fuente: Earthgreen Colombia S.A.S

Otros sistemas de compostaje cerrado incluyen el uso de composteras de tambor rotatorio, manuales o automatizadas, Cuentan mecanismos de que permita la aireación y movimiento de la materia prima. Los sistemas cerrados automatizados, permiten un monitoreo y control de las variables que afectan la degradación, tales como, humedad, temperatura, entre otras, con el fin de reducir el tiempo de obtención del producto final y evitar la generación de olores, y aparición de desechos lixiviados. Cabe aclarar que la los residuos antes de ser depositados aquí, deben ser previamente triturados.

Según la disposición de la compostera, esta puede ser horizontal o vertical. En los sistemas verticales, el recipiente descansa sobre su base. Los residuos, se añaden por la parte superior y el material ya listo, se extrae por la parte inferior. Los lixiviados, salen también por la parte inferior.

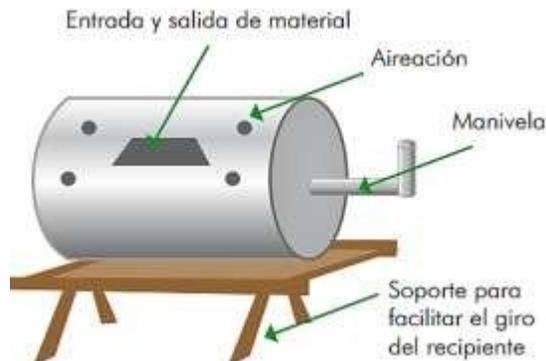
Figura 8. Compostera vertical



Fuente: Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. FAO 2013

En la compostera horizontal, el recipiente descansa sobre su eje longitudinal, y una vez que se introducen los residuos a esta, se debe esperar para que el proceso finalice para extraer el abono, y nuevamente introducir otra nueva carga de residuos. A diferencia de la vertical, el volteo permite generar condiciones para obtener una mezcla más homogénea.

Figura 9. Compostera horizontal



Fuente: Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. FAO 2013

Para determinar qué tipo de compostera usar, es importante tener en cuenta el espacio con el que se cuenta, el volumen de la materia prima, y el tiempo que se dispondrá para este proceso. En Colombia, en Floridablanca, lograron un modelo de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, para espacios reducidos, adoptando el sistema tecnológico llamado Tellus Compost, adoptado de tecnología sueca. Los residuos se introducen en una máquina trituradora, de la que resulta un polvillo, el cual es sometido a una serie de condiciones para tratar la humedad. Para posteriormente ser empacado y comercializado.

5.8.3 Proceso industrializado de abono orgánico. Este proceso, se caracteriza por el uso de complejas líneas de producción, es un proceso en su mayoría automatizado. Incluye la producción de abono orgánico en polvo o en granulos. El tiempo del proceso aquí se reduce considerablemente, y basta con unas pocas horas o días para obtener el abono.

En general, en todas las plantas, el proceso consta de las siguientes etapas, La materia prima pasa por diversos procesos como trituración, mezcla, granulación, secado y enfriamiento, cribado y empaquetamiento. Para desechos con gran cantidad de agua, se utiliza máquinas separadoras de sólidos y líquidos, como la que se observa a continuación.

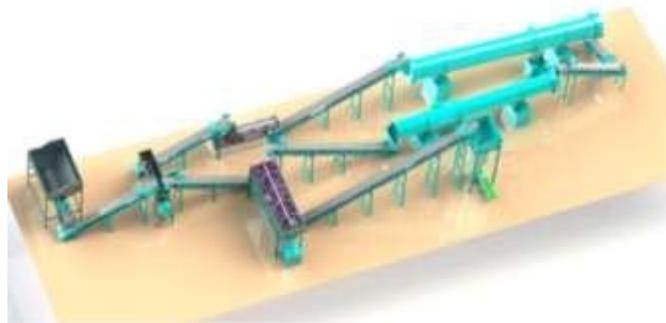
Figura 10. Máquina separador sólido-líquido



Fuente: Russell Finex

Las plantas de producción de abonos orgánicos granulados, incluye maquinaria como trituradora, mezcladora, máquina de cribado, máquina de secado, máquina de enfriamiento, y otros equipos auxiliares. A continuación, se presenta una línea de producción para la elaboración de abono orgánico granulado.

Figura 11. Planta de granulación de abonos orgánicos con granulador de tambor rotativo



Fuente: Yushunxin. Fertilizer Manufacturing Equipment.

Según el volumen de residuos a tratar y otros factores, las plantas pueden variar sus diseños. En la siguiente gráfica, se puede evidenciar una planta de tratamiento, denominada Planta de Granulación y Secado para Abonos Orgánicos Mini Top 500, la cual cuenta con una capacidad de 500 kg/hora. Su sistema de granulación, se da mediante un granulador de tambor. El proceso de secado ocurre en un Horno Rotatorio de Cascada, y una zaranda circular que permite la clasificación del producto terminado. A continuación, el diseño de esta planta:

Figura 12. Planta de Granulación y Secado para Abonos Orgánicos Mini Top 500



Fuente: Dr Calderón Labs

En muchos países asiáticos y europeos, existen también líneas especializadas para el tratamiento de estiércol y su transformación en pellets aprovechables. Por ejemplo, la empresa Redondolzal, ubicada en Navarra, España, ha desarrollado una completa línea de producción para el tratamiento de estiércol ovino, gallinaza y equino, para la producción de abono orgánico.

Figura 13. Planta procesamiento estiércol para fabricación de pellets



Fuente: Redondo Izal

Si bien estas líneas de producción permiten obtener en un menor tiempo el producto, los costos asociados a su implementación, generalmente son altos.

5.9 OTROS FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Además de la elaboración del abono orgánico, los residuos sólidos orgánicos, son utilizados para la generación de energía, debido al alto potencial energético en sus moléculas orgánicas. En la transformación anaerobia de materia orgánica, se obtiene como producto el biogás, compuesto principalmente por gas metano y dióxido de carbono. Además en este proceso se genera un lodo residual, rico en nutrientes.

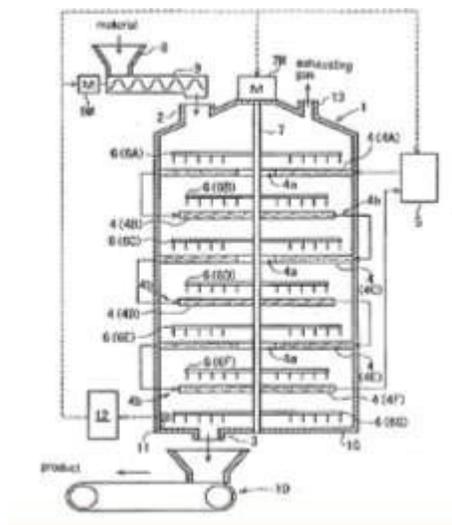
6. MARCO REFERENCIAL

Desde hace varias décadas se han creado diversos sistemas mecánicos cuyo objetivo es optimizar el proceso de elaboración del abono orgánico, potenciando sus ventajas y permitiendo un ahorro de tiempo. En el presente proyecto, se evaluaron diferentes patentes e investigaciones relacionadas con eje central, las cuales serán analizadas, desde un contexto internacional, nacional y finalmente local.

6.1 TECNOLOGÍAS ASOCIADAS AL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS

Según el Boletín de la Superintendencia de Industria y Comercio, sobre tecnologías relacionadas con biofertilizantes, se lograron identificar dos patentes internacionales, relacionadas con mejoras en el proceso de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. Según la patente con número de solicitud número AU2003261842, titulada *Aparato y método para la producción de sustancia madurada semejante al compost*, solicitada por una empresa japonesa, su procedimiento consiste en un equipo vertical para la producción de compost por medio de calentamiento y deshidratación, procesos que mejoran la velocidad y calidad del producto final.

Figura 14. Aparato y método para la producción de sustancia madurada semejante al compost



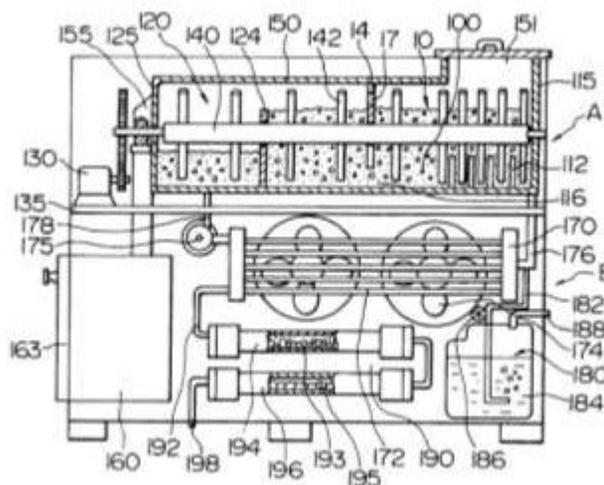
Fuente: Banco de patentes SIC. Tecnologías asociadas con biofertilizantes. 2014

El sistema anterior, consta de un recipiente vertical, en su lado superior, cuenta con una entrada para desechos orgánicos, y con una salida para el abono, que ha recibido calor en el proceso, mediante un panel de calentamiento. El material dentro del recipiente 1 se calienta y se seca y se trata adicionalmente con calor a una temperatura de 100°C a 200°C, produciendo así continuamente abono como material.

Otro marco referencial de patentes a nivel internacional, comprende el diseño titulado *Planta procesadora de desechos orgánicos sólidos*, con número de publicación US5587320, la cual consiste en una planta procesadora de desechos orgánicos sólidos que realiza el procesamiento de forma continua sin emitir ruido, malos olores ni incurrir en daños ambientales. La planta incluye un contenedor que sostiene los desechos, un mecanismo que los tritura y una unidad que los mueve y fermenta.

Además, cuenta con un dispositivo que intercambia calor y captura el gas producido en la unidad de fermentación con el fin de condensar el vapor de agua y gas, hacerlo recircular y descargar una fracción en la unidad de fermentación y el resto en el medio ambiente. La planta está dirigida al procesamiento de residuos sólidos alimenticios y su transformación en condiciones de aerobiosis. (Banco de patentes SIC. Tecnologías asociadas con biofertilizantes.2014)

Figura 15. Planta procesadora de desechos orgánicos sólidos



Fuente: Banco de patentes SIC. Tecnologías asociadas con biofertilizantes. 2014

En el ámbito nacional, se encuentra la patente titulada; *Procedimiento para la transformación y deshidratación de residuos*, con numero de solicitud 99-6668, y su año de presentación fue en 1999, por Jairo Francisco Ramírez. Este procedimiento consiste en: -Poner el material orgánico a transformar sin picar en un túnel cubierto; luego se desbroza el material con una máquina desbrozadora, buscando darle un tamaño menor a 3 mm; una vez desbrozado el material, proceda a la aplicación del Pool Microbial Benéfico, con la ayuda de un aplicador de Ultra-Bajo Volumen (UBV), acondicionado para tal fin; desde este momento se airea y homogeniza el material cada hora, durante el primer día; cada dos horas durante el segundo y el tercer día; y tres veces al día durante los días restantes del proceso.

Transcurridos cinco a siete días, el material se ha tornado color café claro uniforme, ha tomado el olor característico de tierra húmeda, lo cual indica la alta transformación que se ha dado de la materia orgánica que contiene y ha descendido su humedad a valores inferiores al 13%, dándose por terminado el proceso biológico; en este momento, proceda a triturar el material ya seco y transformado, para darle uniformidad, con la ayuda de una máquina trituradora, con la pala del tractor se transporta el producto hasta la tolva móvil por una cinta transportadora, hasta la cernedora manual o mecánica que se encarga de clasificarlo; una vez clasificado el producto, se transporta por un tornillo sin fin y se almacena en los silos de empaque así: polvo o impalpable, granulado de 1-3 mm y granulado mayor a 3 mm; para posteriormente ser ensacados o enlatados (Base de datos de patentes, Patent Inspiration)

En el ámbito local, el antecedente más cercano, es el trabajo realizado por el docente e investigador huilense, Edgar Garzón, quien desde 1983 comenzó su trabajo de investigación, y paralelo a este, un trabajo con la comunidad del barrio Las Granjas de Neiva, apoyando e incentivando el reciclaje. Gracias a este arduo trabajo, logro convertirse en la primera patente en el departamento del Huila, en materia de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, y la primera registrada en el banco de patentes de la Superintendencia de Industria y Comercio, de tecnologías asociadas a biofertilizantes.

En el año 1996, logró su patente, con nombre: *-Procedimiento para tratar basuras sólidas de origen vegetal y módulo procesador*". En el cual los residuos son limpiados en una banda transportadora donde se retiran manualmente las impurezas, después se aplica un proceso de higienización por medio de un lavado en tres módulos procesadores. Ya limpio el material, se procede a la esterilización en un procesador, se obtiene una pulpa limpia, que pasa a trituración o desintegración por aplastamiento en un molino de martillo para convertirla en una masa vegetal blancuzca uniforme, a 50°C y presión normal.

Posteriormente, se separa la fibra del almidón en un selector de fibra, obteniéndose un almidón acuoso puro con un pH de 7,25, éste se lleva a una mezcladora rotativa donde se le incorporan los nutrientes o aditivos y se pasa a una zona de peletización, después, sobre una banda transportadora se hace pasar la carga por una cámara de secado, donde se realiza la operación de deshidratación, a una temperatura de 60°C, a una presión normal y en un tiempo de 15 minutos. Finalmente, el material pasa a una empacadora automática a una temperatura de 40°C, donde se obtienen bultos de 45 o 50 kg de peso.

Con respecto a las investigaciones en cuanto a los beneficios del abono orgánico, realizadas previamente, se pueden citar las siguientes:

Para demostrar la efectividad de los abonos orgánicos o compost sobre el suelo, el trabajo realizado por Suzanne Donn, Ron E. Wheatley, Blair M. McKenzie y Kenneth W. Loades, titulado *-La mejora de la fertilidad del suelo por la modificación del compost aumenta el crecimiento de las raíces y el refuerzo del suelo superficial en las pendientes*”, se realizó un estudio para determinar como la vegetación se ve afectada por una baja fertilidad en los suelos alterados en proyectos, y si el abono orgánico podría aumentar la tasa de crecimiento y fortalecimiento de las raíces de las plantas, y por lo tanto disminuir las fallas superficiales. Se estableció una muestra control, la cual no contaba con abono orgánico. Trece semanas después al comparar las otras muestras con la prueba de control, estas aumentaron su cubierta vegetal hasta 6 veces en comparación con la muestra de control. Lo que permitió concluir que el abono orgánico favorece el desarrollo radicular, gracias a un aumento de las concentraciones de nutrientes.

Otra investigación titulada: *-Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca*, por Juan Manuel Muñoz C.; Javier Andrés Muñoz P. Y Consuelo Montes R. Este estudio tiene por objetivo evaluar abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado, específicamente, plantas y de lechuga. Se elaboraron pilas de compost separadamente y se analizó cada compost para determinar contenido de nutrientes. Las pruebas físico-químicas del compost cumplieron la norma NTC 5167.

Del estudio anterior, mediante los resultados obtenidos, se logró concluir que la aplicación del compost al suelo mejoró su pH, la ganancia promedio en peso para cada cultivo, superó el 300%. Se observó efecto positivo sobre las propiedades químicas del suelo, al comparar los análisis realizados antes y después de la aplicación de los abonos orgánicos. En los dos tratamientos se evidenció un incremento en la capacidad de intercambio catiónico La ganancia promedio en

peso para lechuga fue del 420% y para repollo de 334% con respecto a la muestra control. Permitted concluir que la aplicación de abonos tiene efecto directo sobre el pH del suelo, y aumenta el intercambio catiónico de nutrientes, debido a la generación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2; el factor A lo componen los dos tipos de estiércol y el factor B, lo constituye los residuos vegetales. Se realizaron cinco repeticiones, y para comparar los valores obtenidos, se utilizó la prueba de Tukey. A las 24 semanas, se observó un aumento considerable en el nitrógeno total del suelo, la cantidad de elementos nutricionales aumento considerablemente. Lo que permite demostrar que los abonos orgánicos, influyen favorablemente en las condiciones del suelo.

Con respecto a la implementación de técnicas y procesos industriales, para el aprovechamiento de estos residuos, la investigación, titulada; *-Producción rápida de fertilizantes orgánicos a partir de desechos biodegradables mediante procesamiento termoquímico*”, por CR Sudharmaidev, KCM Thampatti y N. Saifudeen, se diseñó una máquina, que consta de dos partes principales, una unidad de triturado, y otra unidad de reactor con control de temperatura e instalación de agitación constante.

Los residuos, son mezclados hasta obtener una masa uniforme y homogénea, que pasa a la unidad el reactor, en donde se le adicionan los productos químicos, en este caso ácido clorhídrico, durante 30 minutos, e hidróxido de potasio, durante 30 minutos a 100 ° C, obteniendo así un producto estable y homogéneo, que sale por la válvula del reactor. El proceso tarda entre 8 y 14 horas. Durante el proceso, no se generaron contaminantes, como los lixiviados. Lo que permite concluir, que este proceso permite brindar una solución sostenible para el tratamiento de estos residuos.

7. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

En Colombia existe una normatividad amplia en materia de gestión y disposición de residuos sólidos. Pero aún existen vacíos en cuanto a su conocimiento y aplicación. El presente proyecto, se rige también bajo la normativa sobre la producción y comercialización de abonos orgánicos. A continuación se mencionan la normatividad asociada.

- En el artículo 79 de la Constitución Política de Colombia de 1991, consagra que; —Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- Ley 09 de 1979, en donde se especifican, medidas sobre el manejo de residuos sólidos.
- Ley 99 de 1993 , por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente
- Documento 3874 CONPES, con la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, del año 2016.
- Decreto 2104 de 1983, el cual establece las normas sanitarias aplicables al almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, transformación y disposición sanitaria de los residuos.
- Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998. Ministerio del Medio Ambiente
- La Resolución No. 2184 de 2019, la cual unifica el código de colores, utilizados para la separación en la fuente de residuos, quedando así, el color blanco para todos los residuos aprovechables, como metal, plástico, papel y cartón; el color negro para residuos no aprovechables, como papeles contaminados con comida, entre otros, y el color verde, el cual identificará los residuos orgánicos aprovechables, como desechos agrícolas, restos de comida, entre otros.
- Resolución 754 de 2014, en donde se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión de Residuos Sólidos.
- Resolución No. 3079 de 1995, del Instituto Colombiano Agropecuario; en la cual; *“se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines.”*

- Decreto 0322 de 2019, el cual incentiva y fomenta el aprovechamiento de los residuos sólidos, mediante una adecuada separación en la fuente, y recolección selectiva
- Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998. Ministerio del Medio Ambiente. Esta política define los principios de la Gestión Integral para todos los tipos de residuos. Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de residuo aprovechable y no aprovechable.

En cuanto a la legislación que rige la producción de abonos orgánicos en Colombia, se encuentra:

- La Norma Técnica Colombiana NTC 5167, establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo.
- La Norma Técnica Colombiana NTC 40, establece la normatividad referente al etiquetado de abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.
- La Norma Técnica Colombiana GTC 24, en la cual se establecen los lineamientos para la gestión ambiental, los residuos sólidos y la guía para la separación en la fuente.
- La Norma Técnica Colombiana NTC 202, en donde se establecen los métodos cuantitativos para la determinación del potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes de materias primas para su fabricación.
- La Norma Técnica Colombiana NTC 326, incluye la normatividad asociada al método de ensayo de granulometría en seco en abonos o fertilizantes.
- Resolución 187 de 2006, en la cual se adopta el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empacado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización. Además, se establece el Sistema de Control de productos agropecuarios ecológicos.
- Reglamento para la producción Orgánica, del Ministerio de agricultura y desarrollo rural; —Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empacado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos—, en el artículo 4, especifica las condiciones para el mantenimiento del suelo, aumentando su actividad biológica y fertilidad, mediante acciones como rotación de cultivos anuales, la incorporación al terreno de fertilizantes o abonos orgánicos, el

uso eficiente de maquinaria y herramientas, mantenimiento de las zonas de amortiguamiento con vegetación nativa de todos los cuerpos de agua. Los productores deben tomar medidas para prevenir la erosión, compactación, y otras formas de degradación del suelo, entre otras medidas.

- Resolución ICA No. 0015021 Ene 2003 —Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.¶

Con respecto al marco normativo que rige a las empresas generadoras de residuos sólidos orgánicos, y su disposición, se encuentra;

- La resolución 2674 de 2013 expedida por el Ministerio de Salud y la Protección Social, la cual en el inciso número 5, del capítulo 1, se dicta:

5.4. -Cuando se generen residuos orgánicos de fácil descomposición y no se disponga de un mecanismo adecuado de evacuación periódica se debe disponer de cuartos refrigerados para el manejo previo a su disposición final”.

CAPÍTULO DOS

8. METODOLOGIA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo el cumplimiento del objetivo específico planteado, el cual es realizar una caracterización de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neiva, se llevó a cabo un proceso de investigación, a través de un estudio realizado en los principales focos de generación de estos residuos (hogares, restaurantes y plazas de mercado). Los resultados aquí obtenidos, serán un importante insumo para la ejecución del presente proyecto.

8.1 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Desarrollar un diagnóstico sobre la disposición y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la ciudad de Neiva.

8.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrolló, es de tipo descriptiva, de carácter cualitativo y cuantitativo a su vez, ya que no sólo involucra la recopilación de datos y su tabulación, sino ir más allá, al identificar las relaciones que existen entre dos o más variables.

8.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La recolección de datos necesarios se realizó mediante fuentes primarias y secundarias.

8.3.1 Primarias: La recopilación de información primaria, se desarrolló mediante la aplicación de una encuesta, la cual fue aplicada durante tres meses.

8.3.2 Secundarias: El análisis, se realizó con base en los registros estadísticos y proyecciones de información por entidades como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

8.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

8.4.1 Caracterización de la población. La ciudad de Neiva es la capital del departamento de Huila. Su temperatura promedio oscila entre 26°C a 33°C. Limita al norte, con los municipios de Aipe y Tello; al sur, con los de Rivera, Palermo y

Santa María; al este, con el departamento del Meta; y, al oeste, con el Tolima. En cuanto a la división política y administrativa se ha estructurado a partir de 10 comunas, con 117 barrios ,8 corregimientos con 61 veredas. Su economía se basa basada en la gastronomía, industria y comercio.

Es considerada como uno de los corredores turísticos más importantes del sur del país, llegando a ser considerada como La capital del Río Magdalena. De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población al año 2018, fue de 357.392 habitantes.

8.4.2 Determinación de la muestra. En primera instancia, se realizó un muestreo aleatorio estratificado por comunas y sus barrios. De las 10 comunas de la ciudad, se eligieron aleatoriamente barrios para realizar las encuestas, quedando así el listado de barrios a encuestar:

- Comuna Noroccidental o Uno: barrio Cándido Leguizamo, barrio los Andaquies
- Comuna Nororiental o Dos: barrio El Cortijo, Barrio los Cámbulos
- Comuna Entre Ríos o Tres: barrio Campo Nuñez, barrio Quirinal
- Comuna Central o Cuatro: barrio Altico, barrio San José
- Comuna Oriental o Cinco: barrio Guaduales, barrio El Jardín, barrio Villa Café, barrio Villa Regina
- Comuna Occidental o Seis: barrio Canaima, barrio Timanco
- Comuna Centro Oriental o Siete: barrio Calixto, barrio Gaitán
- Comuna Suroriental u Ocho: barrio Las Américas, barrio San Carlos
- Comuna Norte o Nueve: barrio Alberto Galindo, barrio Virgilio Barco
- Comuna Oriente Alto o Diez: barrio El Tesoro, barrio La Rioja, barrio Los Colores, Conjunto residencial Bosques de Cantabria

Figura 16. Comunas y barrios de la ciudad de Neiva, departamento del Huila



Fuente: Tomado de Wikipedia, barrios de Neiva por comunas

Para determinar la muestra del presente estudio, se aplicó la fórmula estadística para población finita;

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + z^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

- n= tamaño muestra
- z= nivel de confianza
- p= probabilidad a favor
- q (1-p)= probabilidad en contra
- N= tamaño de la población universo
- e= error de estimación
-

Según los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para el año 2018, la población de la ciudad de Neiva, fue de 357.392 habitantes, se utilizó un margen

de error del 5% y un nivel de confianza del 92%, con los cuales, se determinó una muestra de 307.

8.5 MÉTODOS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se desarrolló un cuestionario que permitió evaluar las variables pertinentes al objetivo del proyecto. La técnica de recolección de datos utilizada fue la encuesta, a través de un cuestionario, titulado —Encuesta de caracterización de disposición de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neival.

El cual consta de 14 preguntas, de opción múltiple, con variables cuantitativas, como cantidad de desechos orgánicos generados, y cualitativas, como si conoce o no el término de separación en la fuente, disposición final de los residuos, problemáticas asociadas al manejo de estos residuos, entre otras.

8.5.1 Recolección de la información. Las encuestas fueron aplicadas a los principales focos de generación de residuos sólidos orgánicos, como lo son los hogares, restaurantes y plazas de mercado. El 2 de diciembre del año 2019, se inició el proceso de recopilación de la información, el cual tuvo una duración de tres meses, hasta el mes de febrero del año 2020.

Figura 17. Recolección de la información



Fuente: Los autores

En total fueron aplicadas 307 encuestas. Cabe resaltar, que paralelo a la recopilación de información, se llevó a cabo una campaña de concientización y educación sobre los residuos sólidos orgánicos, llamada —Cierra el ciclo de tus residuos sólidos orgánicosll, con temáticas como separación en la fuente, caracterización y su potencial uso para la elaboración de abonos.

Figura 18. Ejecución de la campaña —Cierra el ciclo de tus residuos sólidos orgánicosll



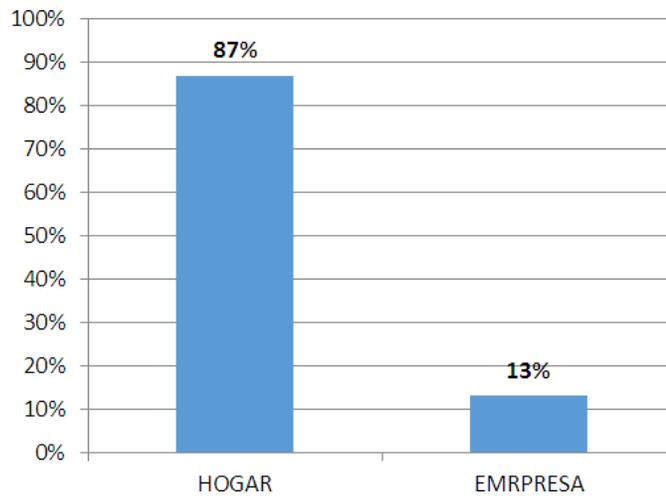
Fuente: Los autores

8.5.1 Análisis de la información. En esta investigación se realizó el análisis estadístico de la información recolectada, mediante el uso del programa Microsoft *Excel*, para la tabulación de la información, y para realizar un análisis que permitiera cruzar diferentes variables, se utilizó el software IBM SPSS Statistics.

8.5.2 Presentación de resultados. Del análisis de la información anterior, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se presentan a continuación:

Con respecto a la caracterización de la población, en la primera parte de la encuesta, se tenía como opción, marcar si corresponde a un hogar o a una empresa, (en este caso restaurantes o plazas de mercado).

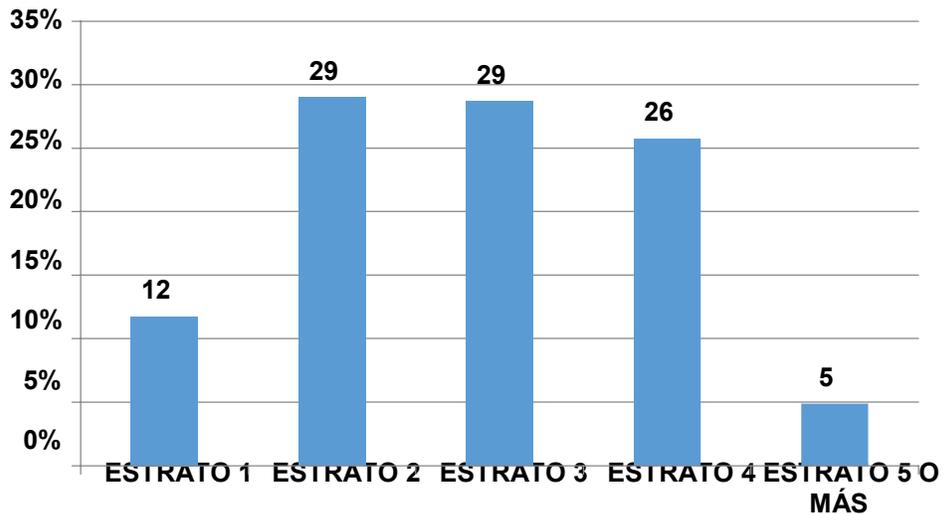
Gráfica 5. Caracterización de la población a encuestar



Fuente: Los autores

Según los resultados obtenidos, el 87% de las personas encuestadas, corresponden a hogares, y el 13% a empresas, como restaurantes y plazas de mercado. Con respecto al estrato, se obtuvieron los siguientes resultados:

Gráfica 6. Caracterización del estrato al cual pertenece

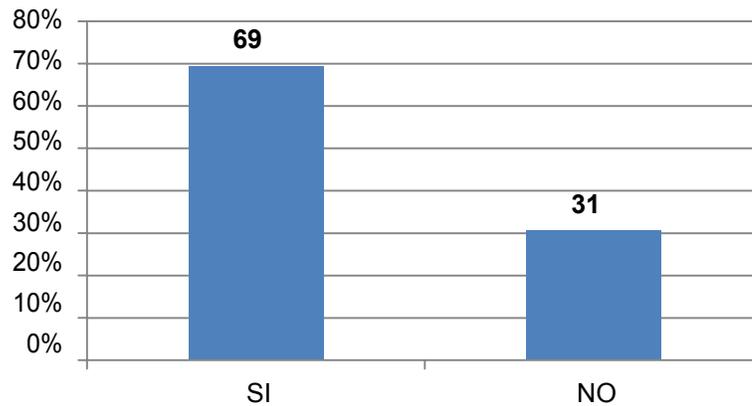


Fuente: Los autores

El 12% de las personas encuestadas, pertenecen al estrato 1, el 29% de los encuestados pertenecen al estrato 2 y 3, respectivamente, el 26% pertenecen al estrato 4, y finalmente, el 5% restante, pertenecen al estrato 5, o superiores.

Para la pregunta, ¿sabe qué son los residuos sólidos orgánicos?, se obtuvieron los siguientes resultados;

Gráfica 7. ¿Sabe qué son los residuos sólidos orgánicos?

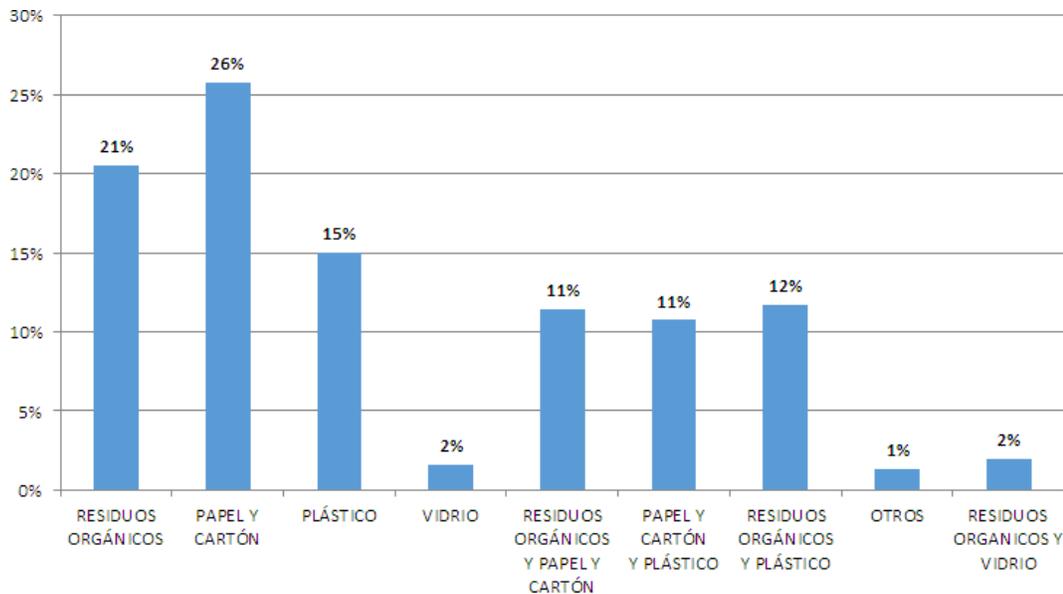


Fuente: Los autores

El 69% de los encuestados, conoce que es un residuo sólido orgánico, y el 31% restante, manifestaron que no conocían el concepto.

Para la pregunta, ¿Qué tipo de residuos genera en mayor cantidad?, se obtuvo:

Gráfica 8. Caracterización de los residuos sólidos más generados



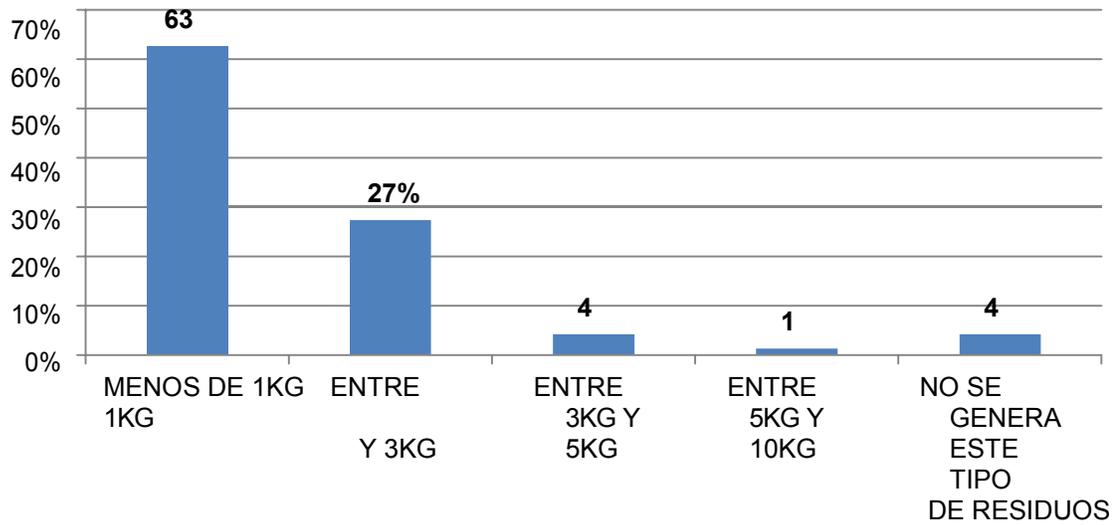
Fuente: Los autores

El tipo de residuo, que más se genera, es el papel y el cartón, con un 26 %, seguido de los residuos orgánico, con un 21%, el tercer tipo de residuo, que más generan, es el plástico, con un 15%, la combinación de residuos orgánicos y papel y cartón, con un 11%.

Los residuos orgánicos junto con el plástico, constituyen los residuos más generados por el 12% de la población. El papel y el cartón, junto con el plástico, se producen en mayor cantidad en el 11%, el vidrio con un 2%, el 1% restante corresponde a otro tipo de residuos, como pañales, heces de animales y residuos higiénicos.

La pregunta 5, corresponde a una variable cuantitativa, en la cual se ve reflejada la cantidad aproximada de residuos sólidos orgánicos que se generan en un día, los resultados se muestran a continuación:

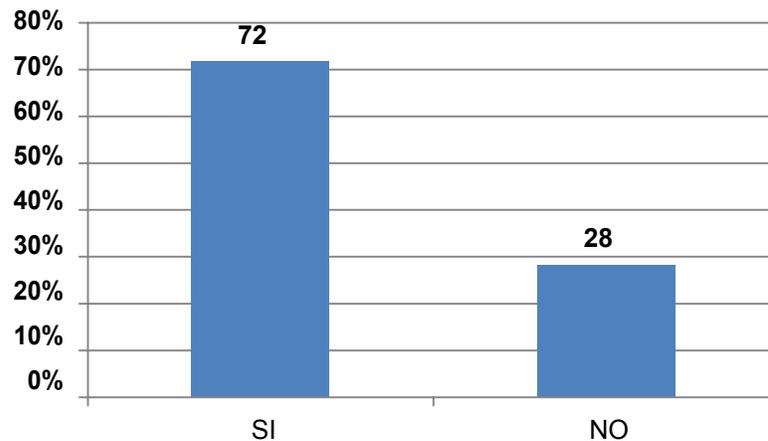
Gráfica 9. Cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en un día



Fuente: Los autores

Como se puede evidenciar en la gráfica anterior, el 63% de los encuestados, genera menos de 1 Kg de residuos sólidos orgánicos durante el día, el 27%, genera entre 1 Kg y 3 Kg de este tipo de residuos, el 4%, manifestó que genera entre 3 Kg y 5 Kg de estos residuos durante un día, el porcentaje de la población, que no genera este tipo de residuos, corresponde al 4%, y el 1% restante produce entre 5 Kg y 10 Kg de residuos. Para la pregunta 6, su objetivo era conocer si las personas tenían conocimiento sobre que es la separación en la fuente, los resultados fueron:

Gráfica 10. ¿Sabe qué es separación en la fuente?

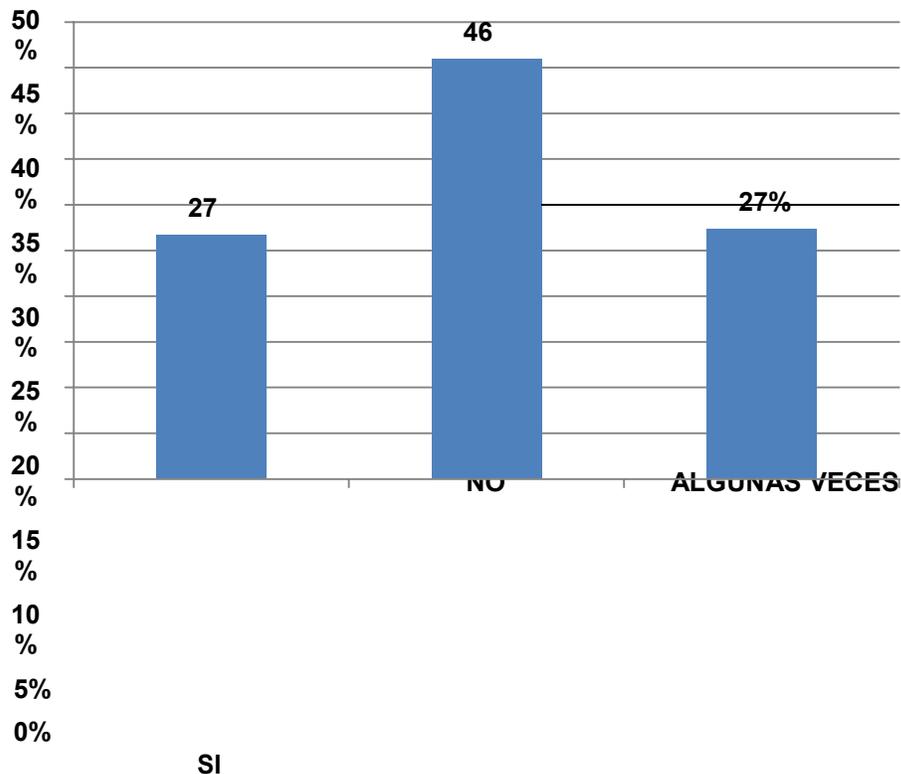


Fuente: Los autores

El 72% de las personas encuestadas manifestó que conoce el concepto de separación en la fuente, mientras que un 28%, aseguró que no conoce este concepto.

Con respecto a la pregunta; ¿realiza usted separación en la fuente?, los resultados obtenidos son:

Gráfica 11. ¿Realiza usted separación en la fuente?

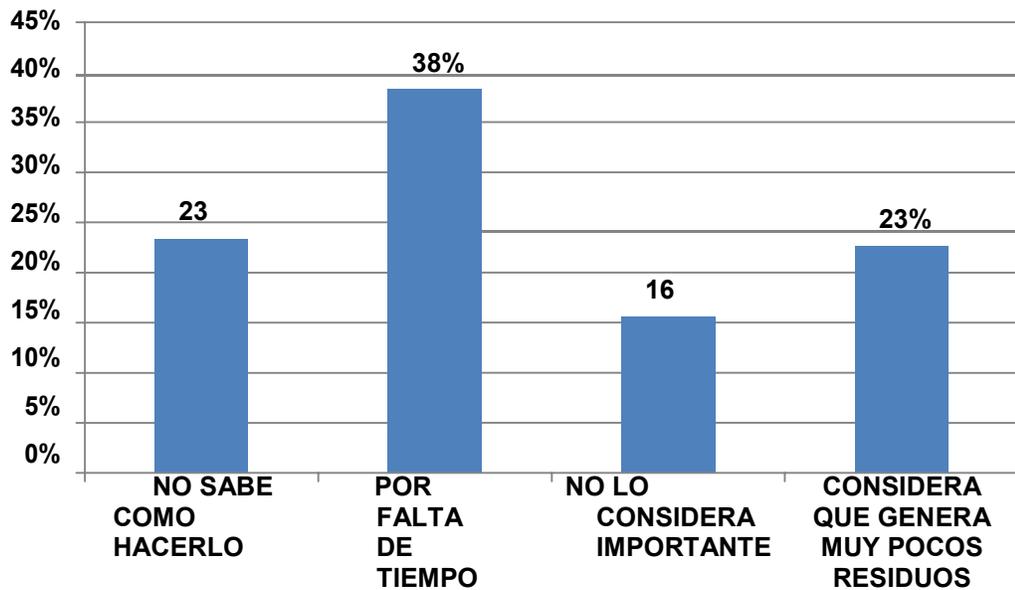


Fuente: Los autores

El 27% manifestó que si realizaba separación en la fuente, el 46%, no la realizaba, y el 27%, algunas veces realizaba separación en la fuente. En la población que no realiza separación en la fuente, se brindó una charla de sensibilización sobre la importancia de esta acción, y las ventajas que tendrían al hacerlo.

Si la respuesta anterior fue negativa, la pregunta ¿cuál considera usted que es el principal factor que le impide realizar separación en la fuente de sus residuos?, permite conocer las principales razones por las cuales el 46% de los encuestados, no realizan separación en la fuente, los resultados se presentan a continuación:

Gráfica 12. ¿Cuál considera usted que es el principal factor que le impide realizar separación en la fuente de sus residuos?

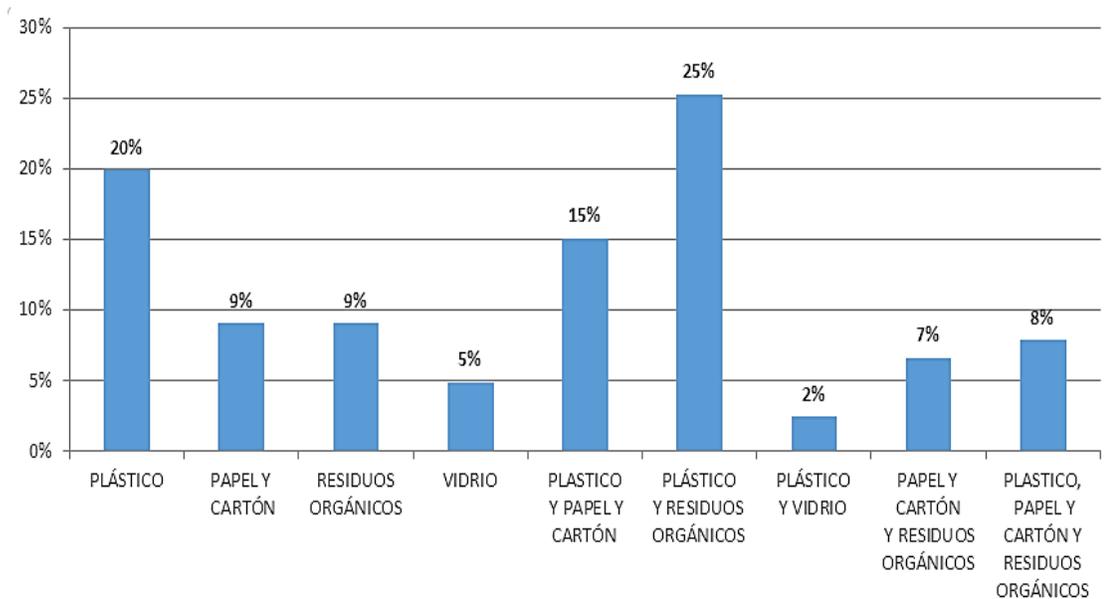


Fuente: Los autores

El 38% de los encuestados, no realizan separación en la fuente por falta de tiempo, el 23% no sabe cómo hacerlo, el 16% no lo considera importante, y el 23% restante considera que genera muy pocos residuos. A las personas que respondieron que no sabían cómo realizar una adecuada separación en la fuente, por medio de una breve capacitación, se les enseñaron las técnicas apropiadas de separación en la fuente, por medio de folletos y charlas.

Para el 54% de las personas que realizan separación en la fuente, la pregunta ¿qué tipo de residuos separa?, permitió realizar una caracterización de estos.

Gráfica 13. ¿Qué tipo de residuos separa?

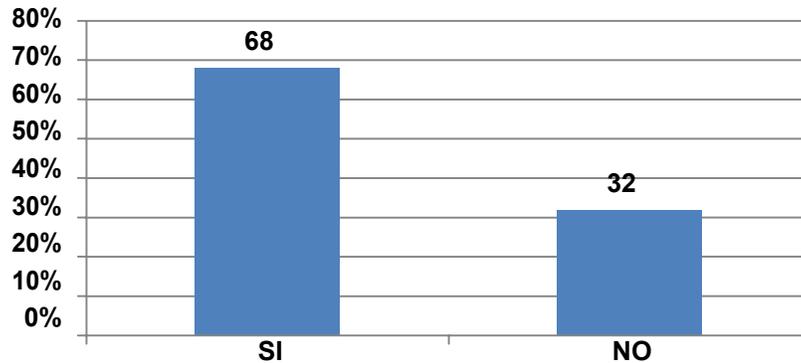


Fuente: Los autores

Como se evidencia en la gráfica anterior, los residuos que más separan en la fuente, es el plástico y los residuos sólidos orgánicos, con un 25%, seguido de solamente plástico con un 20%, papel y cartón con el 9% de participación, los residuos orgánicos, con el 9%, el vidrio, con un 5%. Algunas combinaciones de residuos orgánicos con otro tipo de residuos, corresponden al 15%. Lo que evidencia que los residuos que se separan en la fuente en mayor proporción, es el plástico y los residuos orgánicos.

Con respecto a la pregunta 11 del cuestionario, ¿Sabía que los residuos orgánicos se pueden aprovechar para la elaboración de compost o abono orgánico?, se evidenció que el 68% de la población, conoce el uso potencial de este tipo de residuos, para elaborar compost o abono orgánico, mientras que el 32% restante, manifestó que no conocía esta forma de aprovechamiento.

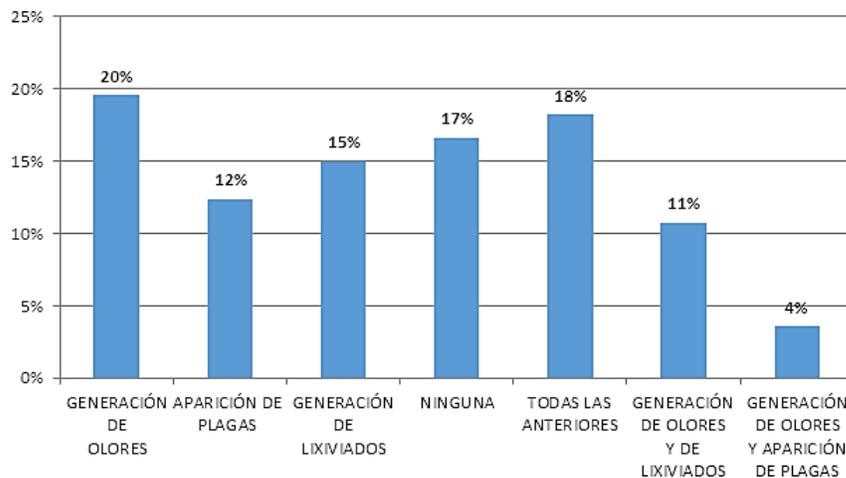
Gráfica 14. ¿Sabía que los residuos orgánicos se pueden aprovechar para la elaboración de compost o abono orgánico?



Fuente: Los autores

Para la pregunta; ¿Ha tenido alguna de las siguientes problemáticas con respecto a la disposición de sus residuos?, se tienen como opciones, la generación de olores, la aparición de plagas como mosquitos, moscas, roedores, entre otros, la generación de lixiviados, ninguna o todas las anteriores. Los resultados obtenidos son:

Gráfica 15. ¿Ha tenido alguna de las siguientes problemáticas con respecto a la disposición de sus residuos?

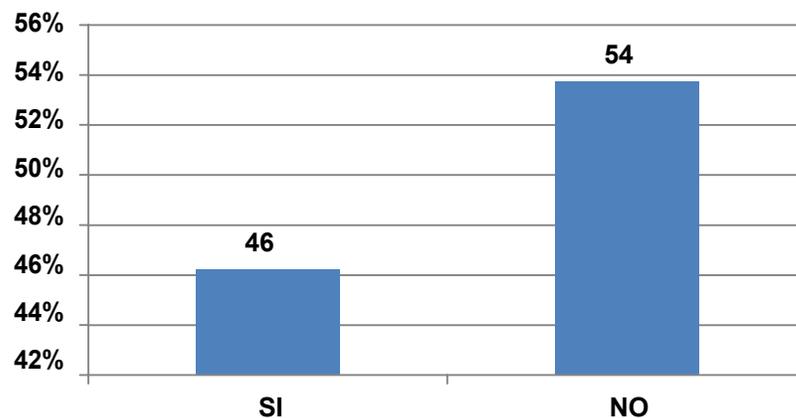


Fuente: Los autores

La generación de lixiviados y la generación de olores, representan las mayores problemáticas asociadas a la disposición de los residuos. La aparición de plagas, con una participación del 12%. El 17% de la población, manifestó que no ha presentado ninguna de estas problemáticas, y el 18%, ha presentado todas las mencionadas.

Para finalizar este estudio, se realizó una pregunta enfocada a conocer si la persona, estaría dispuesta a donar sus residuos sólidos orgánicos, como materia prima para la elaboración de compost o abono orgánico.

Gráfica 16. ¿Usted estaría dispuesto a separar los residuos sólidos orgánicos que genera, y donarlos para la producción de compost o abono orgánico?



Fuente: Los autores

El 46% de la población, manifestó que estaría dispuesto a donar sus residuos sólidos orgánicos, mientras que el 54% restante no lo haría. A las personas que respondieron afirmativamente, se les solicitó un dato de contacto como correo o celular para realizar la respectiva recolección de sus residuos. Esta cifra, nos permitirá obtener la materia prima, para las muestras iniciales del proyecto.

8.6 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Gracias a este estudio, se realizó una caracterización cuantitativa y cualitativa, que será fundamental, para el desarrollo del modelo de producción. Se evidenció que el 69% de los encuestados, conoce que es un residuo sólido orgánico. El tipo de residuo, que más se genera, es el papel y el cartón, con un 26 %, seguido de los residuos orgánicos, con un 21%.

La cantidad de residuos orgánicos, generados durante un día, es menor a 1 Kg, en el mayor porcentaje de la población. El 72% de la población, conoce el concepto de separación en la fuente, pero tan solo el 27% la realiza. Es un porcentaje bajo, y se deben enfocar las acciones para incentivar esta práctica. Entre los principales motivos, por los cuales no se realiza separación en la fuente, se encuentran, la falta de tiempo, y no se conoce el proceso para hacerlo.

El 68% de la población, conoce el uso potencial de los residuos orgánicos, para la elaboración de abonos. La problemática más frecuente, con respecto a la disposición de los residuos, es a la generación de lixiviados. Finalmente, el 46% de la población manifestó que estaría dispuesto a donar sus residuos orgánicos, lo que es una cifra alentadora, para contar con un suficiente volumen de estos, para la ejecución del presente proyecto.

Además se logró desarrollar efectivamente la campaña ambiental propuesta, titulada llamada —Cierra el ciclo de tus residuos sólidos orgánicosll, impactando a gran parte de las personas encuestadas, con temáticas como separación en la fuente, caracterización y su potencial uso para la elaboración de abonos. Generando así, conciencia para lograr una adecuada gestión de los residuos sólidos orgánicos en los diferentes hogares de la ciudad de Neiva.

CAPÍTULO 3

9. MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN

Existen diferentes métodos de deshidratación. Se hace uso de energía solar, hasta deshidratadores industriales. El calor requerido para estos procesos, puede ser suministrado por convección, conducción y radiación, mediante sistemas directos e indirectos.

En los sistemas indirectos, el calor es transmitido, mediante materiales como placas metálicas, y contacto directo con la materia prima. Los sistemas directos, utilizan aire caliente, el material fluye a través del deshidratador, y se expone a esta corriente de aire. Para elegir el método más adecuado, se debe tener en cuenta las características de la materia prima, su cantidad, factores climáticos, entre otros. Estos métodos son:

9.1 Deshidratación Solar: Este método ha sido usado milenariamente por diversas culturas, para lograr preservar sus alimentos. El alimento o material, es colocado en una superficie, en donde quede expuesto directamente al sol. Este método, tiene la desventaja, de que el material expuesto, pueda ser vulnerable a la contaminación por partículas de polvo en el ambiente, o por microorganismos patógenos. Se utilizan también deshidratadores solares, tipo túnel, en donde la materia prima, queda protegida, y se puede alcanzar temperaturas hasta 140°C. Sus ventajas, incluyen bajos costos de operación, y es un método sostenible, por el tipo de energía utilizada.

9.2 Deshidratación por aire: Este proceso, puede realizarse por medio de túneles, secadores de bandeja, secadores de tambor, secadores de bandeja u horno, giratorios, de tambor, de cascada, entre otros. En este método, el aire caliente forzado, remueve el agua de la superficie de la materia prima. Su principal desventaja es que al someter la materia prima a altas temperaturas, se puede correr el riesgo de ocasionar cambios drásticos en las características físicas y químicas de la materia prima. La cinética de deshidratación, depende de las características de la materia prima. En este caso, los residuos sólidos orgánicos se caracterizan por su alto grado de humedad.

9.3 Deshidratación por congelación: Consiste en un proceso de evaporación directa desde el hielo, manteniendo la presión y la temperatura, por debajo del punto triple del agua.

9.4 Deshidratación osmótica: consiste en colocar la materia prima en una solución hipertónica, generalmente con azúcar o sal, la cual disminuye el contenido de agua dentro del material.

Otros Métodos de deshidratación, son: deshidratado por liofilización, por atomización, al vacío, por extrusión, por lecho fluidizado, entre otros.

10 ¿QUÉ ES UN DESHIDRATADOR?

Los deshidratadores son dispositivos que se utilizan generalmente para retirar el agua de los tejidos de productos como verduras, semillas, frutas, madera, hierba, entre otros productos. Y tiene como fin la conservación de los alimentos, y que pueden conservarse secos durante un largo periodo de tiempo, sin perder sus propiedades organolépticas, nutritivas y bromatológicas. Pueden funcionar con energía eléctrica o solar, y en el mercado se pueden encontrar de diversos materiales, desde madera hasta acero inoxidable.

10.1 ¿QUÉ ES UN DESHIDRATADOR SOLAR?

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los productos. Este método, es una alternativa utilizada en para pequeñas industrias, y se ha posicionado como un modelo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas.

Figura 19. Deshidratador solar



Fuente: Deshidratadores solares. Ecute. UNAM

Según la distribución de sus elementos, se clasifica en:

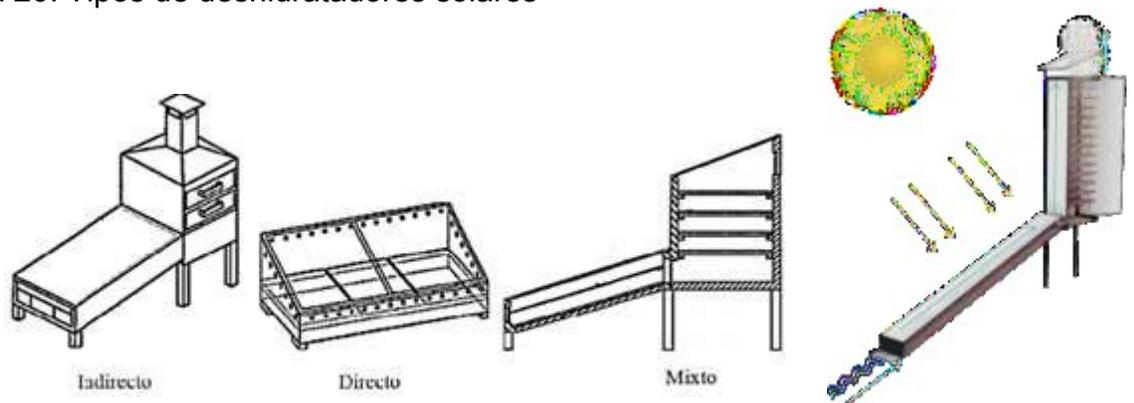
- Deshidratador solar indirecto: Tanto como el colector como la cámara de secado están separados. La radiación solar calienta el aire del colector, y posteriormente pasa a la cámara de secado, en donde se encuentran los productos. En la cámara de secado no incide la radiación solar. Este

modelo es conveniente para productos que son sensibles a la exposición directa al sol, y aquí es más fácil incorporar una fuente de energía auxiliar

- Deshidratador solar directo: El calor se transfiere por conducción, a través de paredes, generalmente de naturaleza metálica.
- Deshidratador solar mixto: la radiación del sol, es captada y se transmite simultáneamente por la cámara de secado y el calentador.

Para el presente proyecto, debido a sus características, se eligió el deshidratador solar indirecto para el tratamiento inicial de los residuos.

Figura 20. Tipos de deshidratadores solares



Fuente: Tecnologías Apropriadas para la Transformación Agropecuaria
.Deshidratadores Solares

11. INVESTIGACIONES SOBRE EL EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO

En la actualidad, son pocos los estudios realizados sobre el proceso de la deshidratación en los residuos sólidos orgánicos para la elaboración de abono orgánico. Algunos de ellos son: En el trabajo de tesis, titulado: —Deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por el proceso de liofilización y por secado en estufa y su caracterización bromatológica como una alternativa para la gestión y aprovechamiento de estos, por Quiroz Ramirez, Blanca; García González, María de Lourdes; Sánchez Nájera, Rosa María, se utilizaron dos métodos de deshidratación; la liofilización y secado en estufa de laboratorio.

Lo anterior con el objetivo de aprovechar los residuos sólidos orgánicos, de la localidad de San Pedro Atlapulco, México. Se utilizó una muestra de 100g de residuos sólidos orgánicos, en cada método.

Los resultados obtenidos por el método de liofilización, permitieron demostrar que el porcentaje de humedad perdido fue de 83.48%. El peso de la muestra, se

redujo a 12,8 g, lo que permitiría realizar una proyección utilizando una tonelada de estos residuos, la cual quedaría reducida con este método, a 128 Kg. Mediante el método de secado en estufa, la pérdida de humedad por evaporación fue de 84.71 %, y la reducción en peso llegó hasta 17.8 g.

Las conclusiones de este estudio, afirman que la deshidratación de residuos sólidos orgánicos domésticos por los métodos de liofilización y secado en estufa mostró semejanza en cuanto al porcentaje de humedad perdida. El análisis de proteínas y nitrógeno total de los residuos, deshidratados por secado convencional en estufa, muestran valores promedio de 1.31 y 8.21 % respectivamente, lo cual permite concluir que este método, no afecta la composición de nutrientes de estos residuos. El autor afirma, que estos métodos, además de ser económicos, permiten reducir la contaminación que generan estos residuos en el medio ambiente, y se convierten en una alternativa para reducir su volumen y facilitar su manejo.

Otro estudio, fue realizado por investigadores del Instituto Politécnico Nacional, del CETIS y del Colegio de Posgraduados de la Ciudad de México, quienes diseñaron y crearon un dispositivo, llamado —Reductor de basura orgánica por desecación solar magnificada, el cual tiene como fin deshidratar residuos orgánicos urbanos, y reducir su volumen entre un 30% y 70%. Además, permitiría ser usado en abonos orgánicos. El mecanismo, se asemeja a una alacena con repisas. Sus paredes están elaboradas con materiales traslúcidos, como el acrílico, las cuales tienen agujeros, por los cuales, se inyecta dióxido de carbono (CO₂), al sistema, para crear las condiciones de efecto invernadero. El material orgánico, es colocado en las repisas, una vez cerrado el contenedor, se expone al sol. La absorción de calor aumenta debido al gas, y acelera el proceso de deshidratación, el cual tomó entre 24 y 72 horas.

Los anteriores estudios, permiten concluir, que este método, trae ventajas significativas para el proceso de elaboración de abono orgánico, ya que evita la generación de lixiviado y permite obtener el producto en un menor tiempo, entre otros beneficios.

12. PROPUESTA DE INNOVACIÓN: LA DESHIDRATACIÓN COMO PROCESO CLAVE EN LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

La deshidratación es uno de los métodos más antiguos utilizados para la conservación de los alimentos. Es un proceso que consiste en la pérdida de agua, mediante diferentes técnicas. Lo anterior disminuye la acción biológica de muchos microorganismos. Esta técnica es milenaria, y es usada para alargar la vida útil de diversos tipos de alimentos.

Con el siguiente proyecto, se busca integrar la deshidratación, como proceso integral que ayude a evitar la generación de lixiviados en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Si bien, la deshidratación es utilizada en los alimentos, para alargar su vida útil, esta técnica no ha sido muy utilizada, en el tratamiento de los residuos orgánicos. El objetivo, es incorporar este proceso con el fin de que los residuos ingresen a línea de producción deshidratados, es decir, conservando sus nutrientes pero sin un alto contenido de agua, para evitar así malos olores o lixiviados.

Actualmente la literatura y estudios, relacionados con los efectos de la deshidratación en los residuos sólidos orgánicos, es poca. Debido a que este proceso es utilizado principalmente en alimentos. Y tendrá como ventajas, una disminución del volumen de la materia prima, facilitando su manipulación, transporte y almacenamiento. Existen diversas técnicas para realizar el proceso de deshidratación, y los resultados y velocidad, dependen de diversos factores, tales como las características de los productos, la conductividad, su resistencia a la difusión, como evoluciona el producto en determinado tiempo de almacenamiento, entre otros.

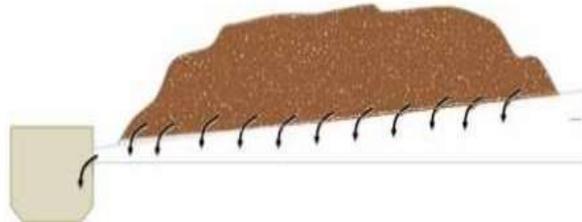
Mediante el trabajo de investigación realizado, se evidenció que la generación de lixiviados, corresponde a la mayor problemática con respecto a la disposición de los residuos orgánicos. Por medio del presente proyecto, tiene como objetivo desarrollar un modelo de producción de abono orgánico, que permita su tratamiento eficiente para dar solución a esta problemática.

Los residuos orgánicos, se encuentran compuestos principalmente por materia orgánica, proveniente de los alimentos, restos de cáscaras de frutas y verduras, entre otros. Durante su descomposición, éstos producen unos jugos, denominados lixiviados, los cuales son ricos en carga orgánica y microorganismos, que pueden llegar a ser perjudiciales para el ser humano, al ser foco de muchos vectores. Los lixiviados pueden filtrarse en el suelo, y llegar a contaminar cuerpos de agua, ocasionando un gran impacto ambiental.

Desde sistemas de compostaje cerrados, hasta las plantas de tratamiento de residuos orgánicos, generan lixiviados, durante el proceso de elaboración de

abono orgánico. Muchas de estas plantas cuentan con un proceso para su tratamiento, mediante una circulación constante en piscinas, a través de moto bombas, teniendo con último fin su evaporación. Los lixiviados al evaporarse, generan un tipo de lluvia ácida, que al caer sobre los terrenos, afectan su fertilidad, y generan daños ambientales.

Figura 21. Sistema de recolección de lixiviados en pilas



Fuente: Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. FAO. 2013

La tecnología de tratamiento para residuos sólidos orgánicos, ha evolucionado, en los últimos años. Existen muchas empresas en países europeos, que han implementado complejos sistemas de tratamiento de lixiviados. Mediante la separación de materia sólida y líquida. (material flotante y de sedimentación). El proceso de separación de líquidos puede requerir una inversión considerable en cuanto a equipo de centrifugado y decantación cuyo costo de operación y mantenimiento también resulta elevado.

Figura 22. Máquina de deshidratación de estiércol de vaca avícola. Separador sólido-líquido



Fuente: Xinxiang Chenwei Machinery

Esta máquina, permite separar la parte líquida, del estiércol animal, y otro tipo de desechos, obteniendo así abono orgánico líquido y sólido. Su material es de acero inoxidable, es de fácil manejo, y no es necesario agregar ningún agente floculante. Este proceso, puede requerir una inversión alta, y su costo de mantenimiento, también puede resultar elevado.

13. MATERIAS PRIMAS

Para el proceso de elaboración de abono orgánico, los residuos, deben cumplir requerimientos básicos, para que el proceso se lleve a cabo de manera óptima. Estos residuos deben estar limpios, y sin residuos peligrosos. Y su almacenamiento no puede superar las 48 horas. Los hogares, restaurantes y plazas de mercado, debidamente caracterizados, mediante el proceso de aplicación del cuestionario base de la investigación, son los principales proveedores de materia prima de este proyecto.

Figura 23. Residuos sólidos orgánicos en la Central de Abastos del Sur del País. Surabastos, Neiva-Huila



Fuente: Los autores

Adicionalmente para incrementar el valor de nutrientes utilizaremos como materia prima, la cascara huevo, la cual es fuente valiosa de calcio. Muchas empresas, añaden al abono, la cal agrícola, un compuesto inorgánico, que reduce la acidez del suelo y aumenta su aireación. Como reemplazo a este producto, se optó por utilizar la cáscara del huevo, que además de cumplir las anteriores funciones, permitirá aportar un alto porcentaje de Calcio, de manera natural.

Figura 24. Cáscaras de huevo, como materia prima



Fuente: Los autores

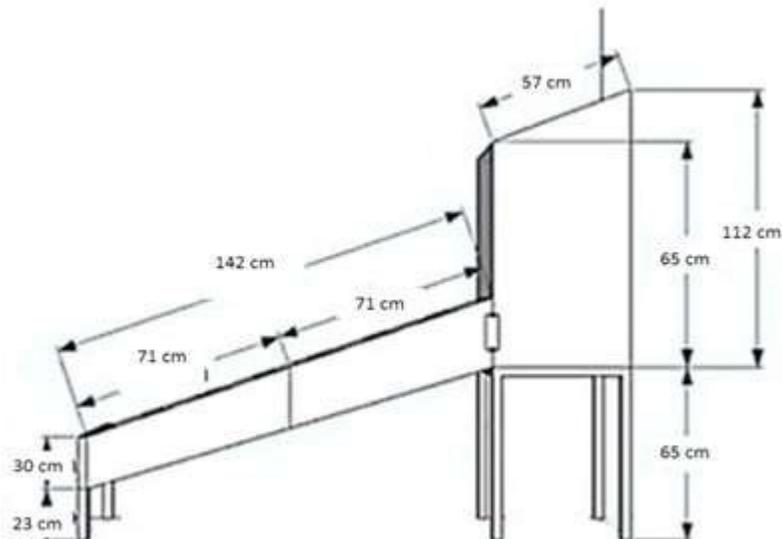
14. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Con base en lo anterior, se optó como la mejor alternativa, el deshidratador solar indirecto, el cual se puede armar en un corto tiempo y está compuesto por dos zonas principales: la cámara de secado, donde se alojarán los residuos y el colector solar, zona en la cual, el aire aumenta la temperatura, y se absorberá la humedad de éstos. Al ser el compostaje, un proceso bioquímico, el objetivo del modelo propuesto, es proveer las condiciones óptimas para que no se altere la composición del producto.

Una característica que le agrega valor agregado al proceso, es el uso de la energía solar. Las variables que deben ser tenidas en cuenta son la humedad, debido a que influye directamente a la cinética de deshidratación, la aireación, el balance de nutrientes, y la temperatura dentro de la estructura, que juega un rol fundamental durante el proceso de deshidratación y permite eliminar microorganismos patógenos y lograr inactivar las semillas presentes en los residuos.

Los materiales utilizados para la cubierta del colector, será de un material translúcido, que permita el paso de los rayos solares, en este caso, se optó por una plancha de policarbonato. El resto del deshidratador, estará construido por una estructura en madera, y algunos soportes en metal. Sus medidas, se muestran en la figura, en donde se evidencia, la vista lateral del sistema, realizada en el software de diseño AutoCAD.

Figura 25. Vista lateral y plano isométrico del modelo propuesto



Fuente: Los autores

14.1 FUNCIONAMIENTO

La transferencia del calor, se da mediante tres procesos: la conducción; mediante el contacto directo entre las partículas de los elementos, la radiación; que ocurre sin contacto físico y en ausencia de un medio, en donde el calor es transmitido mediante energía liberada en forma de radiación, y por último la convección, que ocurre gracias al movimiento molecular, ocasionado por una fuerza externa, que puede ser un gradiente de densidad (convección natural), o debido a una diferencia de presión producida mecánicamente (convección forzada) o una combinación de ambas.

En este prototipo, la energía del sol como radiación, es captada por la cubierta, la cual es de policarbonato. Las paredes del deshidratador, se calientan por conducción. Y el aire fresco que entra, se calienta y circula dentro del área de secado, mediante el proceso de convección. Como resultado se obtiene un flujo constante de aire caliente con temperatura uniforme. Este aire, pasará por la zona, en donde se encuentran ubicados los residuos a secar. Finalmente, el agua contenida en los residuos, se evapora y sale por la parte superior del área de secado, y se disipa en el ambiente. La estructura está elaborada por madera y las bandejas por malla simple.

El proceso tarda de 8 a 10 horas, y dependerá de las condiciones climáticas donde se encuentre funcionando el deshidratador.

Figura 26. Partes del deshidratador solar



Fuente: Los autores

14.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO

El modelo propuesto, comprende las siguientes etapas:

- Recepción de los residuos: En este proceso, los residuos son llevados a la planta, en donde se realiza una inspección y se eliminan materiales extraños o en estado de descomposición muy avanzado.
- Deshidratación de los residuos: Posteriormente son puestos en el deshidratador solar indirecto, durante un tiempo de ocho horas. Ya deshidratados, y se verifica que su nivel de humedad no supere el 12%.
- Triturado: Ya deshidratados, pasan por medio de una banda transportadora al molino triturador, con el fin de dar el tamaño adecuado a las partículas.

Figura 27. Molino triturador



Fuente: Los autores

- Mezclado: Posteriormente, pasan a la mezcladora, y junto con otros aditivos como la melaza y el Calcio, proveniente se obtiene una mezcla homogénea de abono orgánico. Este proceso es muy importante, ya que le otorga al producto
- Tamizado: El producto final pasa por un tamiz, el cual le dará el tamaño adecuado a las partículas. y es almacenado en una tolva.
- Empaquetado y pesado: el abono orgánico, es empacado y pesado, en bultos de polipropileno con capacidad de 25 kilos cada uno.

Figura 28. Abono orgánico obtenido



Fuente: Los autores

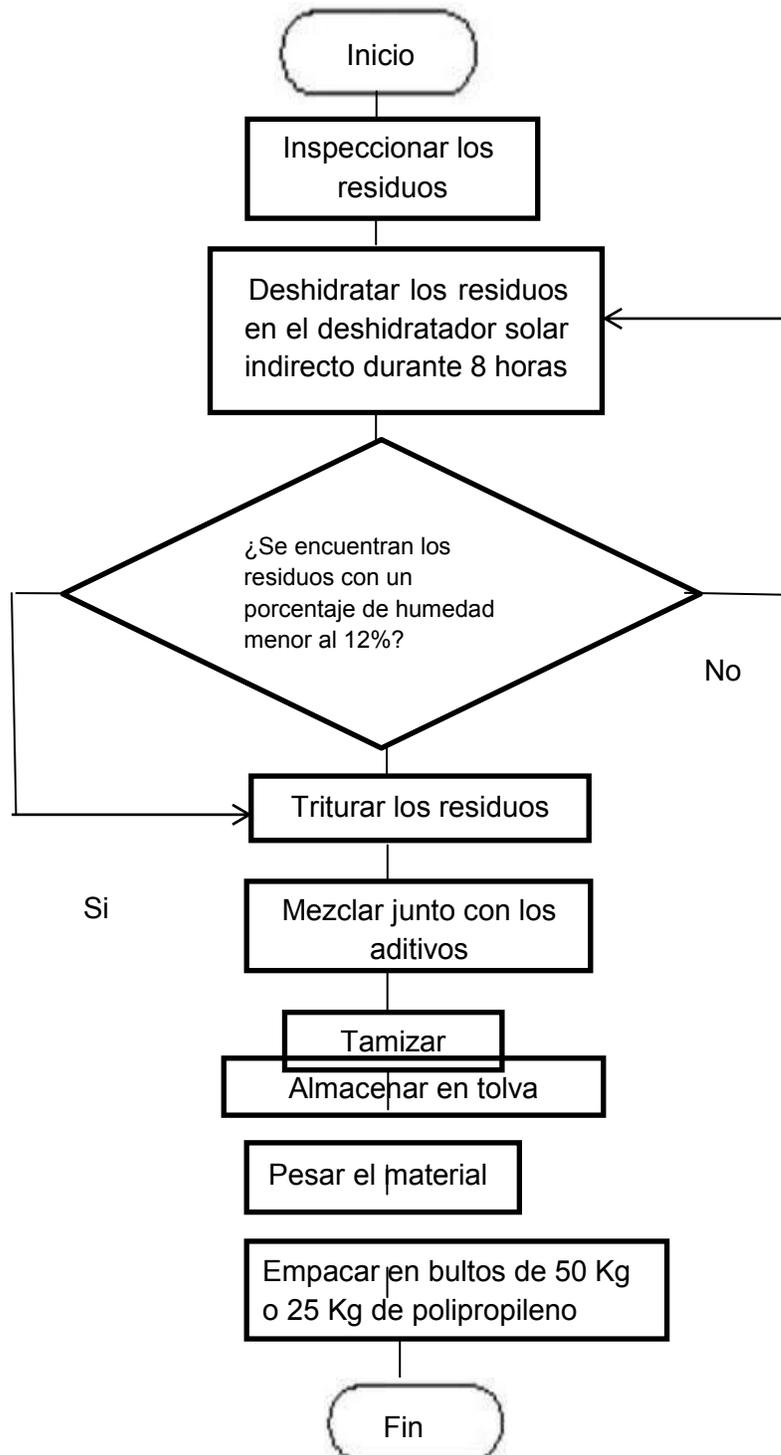
El proceso convencional de producción de abono orgánico, toma de 15 días a nueve meses, mientras que el modelo planteado, permite reducir este tiempo, entre 8 y 10 horas.

En el video adjunto en los anexos, se podrá detallar el proceso de producción realizado.

14.3 FLUJOGRAMA DEL PROCESO

A continuación, se plantea el respectivo flujograma del proceso:

Gráfico 17. Flujograma del proceso desarrollado



Fuente: Los autores

14.4 Cuadro comparativo procesos de elaboración abono orgánico

A continuación, se exponen las principales diferencias, entre los procesos convencionales de producción de abono orgánico, y el modelo del presente proyecto

Tabla 4. Cuadro comparativo procesos de elaboración abono orgánico

Variable/ Proceso	Proceso artesanal del abono	Proceso cerrado	Proceso abierto, mediante pilas (generalmente en plantas)	Proceso industrializado de producción de abono orgánico	Modelo propuesto
Descripción	Este proceso incluye en su mayoría técnicas caseras de compostaje, para autoconsumo. Se realiza en espacios pequeños generalmente, como en viviendas y en fincas, en donde los residuos generados son almacenados en recipientes conocidos como composteras, hasta obtener el abono	Estos sistemas van desde sistemas caseros simples como el uso de compostadores, hasta complejos sistemas de tambores automatizados.	Este sistema es ideal, cuando se dispone de un alto volumen de residuos. Luego de ser triturados, se disponen en pilas, las cuales pueden ser móviles o estáticas. En pilas móviles, se debe disponer de un espacio suficiente para permitir mover la mezcla en los volteos. Mientras que en las pilas estáticas, el material apilado no se mueve, y la temperatura en ellas, es elevada. Muchos sistemas combinan técnicas de volteo con ventilación forzada, para una mayor eficiencia.	Este proceso, se caracteriza por el uso de complejas líneas de producción, es un proceso en su mayoría automatizado. Incluye la producción de abono orgánico en polvo o en gránulos, conocidos como pellets.	El modelo incorpora el proceso de la deshidratación, previo al tratamiento de los residuos, con el fin de disminuir el porcentaje de humedad en ellos, y evitar la generación de lixiviados.
Tiempo	De tres a seis meses	15 días a tres meses	De tres a nueve meses	El tiempo del proceso aquí se reduce considerablemente, y basta con unas pocas horas o días para obtener el abono.	Gracias a la deshidratación previa de los residuos, este proceso tarda 8 horas, para producir abono orgánico
Generación de residuos como lixiviados	Si	Si, pero algunas composteras, tienen como valor agregado, el control de los lixiviados	Si, y se les da el respectivo tratamiento.	Los lixiviados, generalmente son tratados, en máquinas que permiten separar los sólidos de los líquidos	No, ya que la deshidratación, disminuye el nivel de humedad en los residuos

Maquinaria requerida	No se utiliza maquinaria. Se hace uso de herramientas manuales como palas.	El compostador, es un recipiente que cuenta con las características adecuadas para realizar el proceso de compostaje	En muchas plantas, se hace uso de bandas transportadoras para la selección y limpieza de los residuos. Molino triturador, durante el volteo, se puede hacer uso de tractores. También se utiliza el tamiz, tolva de almacenamiento, y maquinaria para el proceso de empaquetado	Las plantas de producción de abonos orgánicos granulados, incluye maquinaria como trituradora, mezcladora, Horno secador, máquina de cribado, máquina de secado, máquina de enfriamiento, y otros equipos auxiliares	Deshidratador solar mixto, trituradora, tamiz, empacadora.
Costo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Ventaja comparativa	Se puede realizar este proceso en espacios cerrados, ya que el proceso es bastante sencillo, y generalmente es para uso en jardines propios	Existen composteras a precios bajos, y su tamaño es adecuado para espacios cerrados	Este sistema, es ideal para un alto volumen de residuos	El tiempo de producción del abono, se reduce significativamente, y existe un mayor control de las variables del proceso	No se generan lixiviados, y el tiempo de producción también se reduce

Fuente: Los autores

15. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MEDIANTE PRUEBAS CASERAS

Durante el proceso inicial y final se llevaron a cabo una serie de pruebas caseras, con el fin de evaluar diferentes variables como humedad, temperatura, tiempo de secado, entre otras.

15.1 La deshidratación disminuye el crecimiento de hongos y bacterias en los residuos

Para comprobar el efecto de la deshidratación en los residuos sólidos orgánicos, se realizó una sencilla prueba, comparando dos muestras, A y B, con la misma cantidad de residuos, y de la misma naturaleza, durante cinco días. La muestra A, se sometió a un proceso de deshidratación solar. Mientras que la muestra B, se mantuvo sin exposición al sol. Se registró la temperatura, el grado de humedad, y otras variables.

Figura 24. Muestra A y B de residuos sólidos orgánicos



Fuente: Los autores

Como se observa en la imagen, La muestra B se caracterizó por la aparición de moho.

Figura 25. Aparición de moho muestra B



Fuente: Los autores

Figura 26. Residuo orgánico contaminado con moho



Fuente: Los autores

Lo anterior, nos permite concluir que la actividad biológica de los microorganismos, es menor en los residuos deshidratados, ya que previene el crecimiento y la reproducción de estos. Es importante mencionar que los residuos orgánicos utilizados para la elaboración de abono, no estén contaminados, ni tengan materiales extraños como plásticos o metales.

15.2 Pruebas de deshidratación. Con el fin de determinar el tiempo promedio de deshidratación, se realizó una pequeña prueba, que consistió en poner en dos bandejas, con pesos similares, diversos tipos de residuos orgánicos, y de forma simultánea, iniciar su proceso de deshidratación. Se utilizó la siguiente fórmula, para determinar el porcentaje de humedad de cada muestra

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P1 - P2}{m} \times 100$$

Dónde:

P1: Peso de la bandeja más muestra

P2= Peso de la bandeja más la muestra seca

m= peso de la muestra de residuos

Una vez los residuos fueron puestos en el deshidratador solar, se midieron temperaturas internas de éste, al inicio y luego de 8 horas. Se tomó el peso de la muestra, de cada bandeja y el conjunto de estas dos, al iniciar el proceso y luego de ocho horas.

Figura 27. Muestra al iniciar el proceso (Izquierda) y muestra deshidratada (Derecha)



Fuente: Los autores

Como resultado, se obtuvo en la muestra A un porcentaje de humedad final del 11,7% y en la muestra B, se alcanzó un 12% de humedad.

15.2 Pruebas de germinación

Otra de las pruebas realizadas, con el producto obtenido, fue la de germinación, en la cual se deben utilizar preferiblemente, con plantas de rápido crecimiento. Esta prueba consistió en sembrar una muestra de semillas en suelo con abono, y otra sin abono. En la muestra con abono, debe germinar entre el 70% el 90%, ya que un porcentaje menor, indica algún problema con el abono. Otra variable importante, es el tamaño de las partículas, ya que según la norma, deben ser menores o iguales a 15 mm.

Para la prueba de germinación realizada, se eligieron semillas de ahuyama. Las cuales fueron sembradas simultáneamente en una muestra con el abono orgánico obtenido en el proceso, y en otra sin abono. Los resultados se muestran a continuación:

Figura 28. Prueba de germinación. Muestra A, a la izquierda, (sin abono orgánico). Muestra B, a la derecha (con abono orgánico)



Fuente: Los autores

Como resultados, en la muestra con abono, al cabo de un mes, germinaron el 82% de las semillas, mientras que en la muestra sin abono, el porcentaje de germinación, fue del 17%, según la proporción

Índice de germinación= _____

Lo que nos permite concluir, que el producto obtenido, cumple con las condiciones aptas para su aplicación.

16. VENTAJAS COMPETITIVAS E IMPACTOS DEL PROYECTO

Desde el campo de la Ingeniería Industrial, este proyecto permitió optimizar un proceso y generar un mayor valor agregado a este, pues en la mayor parte del país es realizado de forma artesanal, con una duración entre 15 a 60 días. Se logró reducir significativamente, el tiempo de producción del abono orgánico, sin perder sus propiedades. Los impactos generados, no sólo son de tipo ambiental, sino de tipo social y económico.

16.1 Impactos ambientales

- ✓ Permitirá reducir la cantidad de residuos sólidos orgánicos que llegan al relleno sanitario de la ciudad
- ✓ Contribuirá a aumentar y recuperar los nutrientes del suelo, y otros parámetros que se han visto seriamente afectados por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos
- ✓ Es un sistema libre de lixiviados que se generan en los procesos comunes de tratamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos
- ✓ Permite un aprovechamiento durante el inicio del proceso, de la energía solar

16.2 Impactos sociales

- ✓ Incentiva la investigación, en un campo que actualmente no está tan fortalecido tecnológicamente
- ✓ Incentiva una cultura hacia el reciclaje y hacia una economía circular, demostrando que estos desechos, tienen múltiples ventajas y pueden ser aprovechados
- ✓ Se fortalece un trabajo articulado con la comunidad

16.3 Impactos económicos

- ✓ Permite además, generar y fortalecer el paso hacia modelos de agricultura sostenible, ya que el abono orgánico constituye un eslabón fundamental en su cadena de valor.
- ✓ El deshidratador solar, tiene un bajo costo de elaboración e implementación, ya que los materiales usados no son de alto costo

Como ventaja competitiva, se logró integrar la técnica de la deshidratación, el cual es un proceso utilizado en alimentos, y se incorporó como pieza clave con el fin de disminuir la humedad de los residuos y evitar la generación de los lixiviados.

17. PRINCIPALES RETOS Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

La naturaleza de los residuos orgánicos, hace que no sean tenidos en cuenta para muchos procesos industriales. El reto que está presente desde el principio del proceso es que el tiempo entre la recolección de este tipo de residuos y su tratamiento, debe ser inferior a 48 horas, pues debido a su naturaleza orgánica, se descomponen con mayor rapidez.

Otro reto del proyecto, es que no existe mucha documentación que asocie el proceso de deshidratación con el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos. Las investigaciones previas son pocas, por lo que la construcción de la información, queda definida principalmente, como un proceso de asociación de estas dos temáticas, y las pruebas realizadas.

A pesar de que la deshidratación puede disminuir el nivel de humedad, el uso de alta temperaturas, puede alterar las características físico-químicas de los residuos. Una de las limitaciones del proyecto, es que puede verse condicionado a factores climáticos.

Por limitaciones de tiempo, y económicas, las medidas del deshidratador solar, fueron reducidas, en comparación de las planteadas en el plano. A pesar de que el resultado fue uno más pequeño, no influyó en los resultados obtenidos.

Cambiar el paradigma establecido, de que los residuos pierden su vida útil apenas cumple su función, no es fácil. Demostrar que pueden ser transformados en productos totalmente aprovechables, fue todo un reto. El cambiar paradigmas ya establecidos, significa cambiar muchas veces estilos de vida. Al no estar tan arraigada la cultura hacia el reciclaje y la separación en la fuente, el trabajo, fue también paralelo, a un trabajo con la comunidad, mediante talleres y capacitaciones, desde conceptos claves hasta llegar a su manejo integral.

CONCLUSIONES

La necesidad de tratar y darle una adecuada disposición final a estos desechos, fue lo que impulsó este proyecto, y a su objetivo fundamental, el cual es, el de diseñar un modelo industrial que permitiera el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y la generación de productos de valor. Para cumplirlo, se dividió en una serie de etapas.

En la etapa inicial, se realizó un trabajo de observación directa, con el fin de identificar diversas problemáticas relacionadas al manejo de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neiva. Además esta etapa incluyó la búsqueda de información que permitió obtener datos importantes, bases teóricas y conocer diversos métodos utilizados en el tratamiento de estos residuos. Todo lo anteriormente mencionado, se encuentra en el capítulo uno.

Seguido a esto, en el capítulo dos, se realizó la caracterización de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Neiva, mediante un proceso de investigación y trabajo de campo. El tipo de investigación desarrollada, fue de tipo descriptiva, de carácter cualitativo y cuantitativo a su vez, ya que no sólo involucró la recopilación de datos y su tabulación, sino ir más allá, al identificar las relaciones que existen entre dos o más variables. Este estudio se realizó en la población de la zona urbana de la ciudad de Neiva, con una muestra de 307. En la cual fue aplicado un cuestionario que permitió evaluar las diversas variables pertinentes al objetivo del proyecto.

En este trabajo de campo, se evidenció que una de las principales problemáticas, relacionadas al manejo de estos residuos, era la generación de lixiviados. Por este motivo, se evaluaron diferentes opciones, y se propuso como factor diferenciador e innovador, integrar la deshidratación como proceso clave en la producción de abono orgánico. Se analizaron algunas investigaciones relacionadas las cuales también integran esta técnica en este proceso.

La última etapa, comprende el modelo planteado, en primera instancia propone el proceso de la deshidratación, para que los residuos ingresen a la línea de producción con un bajo porcentaje de humedad, lo que evita la generación de lixiviados. Además de esto, disminuye el tiempo de producción, ya que en los procesos convencionales, la producción de este abono, tarda entre 15 a 60 días, mientras que en el modelo propuesto, disminuye considerablemente este tiempo, a un lapso de 8 a 10 horas. Y a diferencia de las líneas de producción ya existentes, el costo de instalación de este modelo, es bajo.

Se desarrolló el prototipo de un deshidratador solar indirecto, con medidas inferiores a las inicialmente planteadas, debido a limitaciones de tiempo y económicas. Y posteriormente, se planteó el respectivo flujograma del proceso. Pese a estas limitaciones, como resultado, se obtuvo el abono orgánico, cuyas propiedades físicas, se encuentran dentro de los estándares establecidos. Su color oscuro, reflejó una composición rica en materia orgánica. Su olor fue neutro y estable, debido a que se logró mantener las condiciones de humedad adecuadas y su consistencia fue homogénea, favoreciendo así su aireación. .

Pese a que en Colombia fue establecida la Política para la Gestión Integral de los Residuos, desde 1998, actualmente, existe una baja articulación entre todos los actores claves en la cadena de valor para lograr el aprovechamiento de estos residuos. El apoyo por parte del estado no debe ser únicamente la búsqueda de rutas de recolección, para depositarlos directamente a rellenos sanitarios. En lugar de esto, las acciones, deben ir enfocadas la generación de estrategias claves, desde la base de la cadena, que la constituye principalmente los hogares, restaurantes, plazas, entre otros focos de generación. Pues es allí, donde se producen, y lograr su adecuada separación, es la clave del éxito para su posterior tratamiento.

Por este motivo es importante incentivar en la comunidad, la adecuada separación en la fuente, y generar conciencia, para que puedan ser aprovechados de la mejor manera desde el hogar. Estas acciones, deben ir enfocadas también a otros actores importantes como recicladores, y empresas que buscan generar un valor agregado a estos residuos. Lograr una articulación en esta cadena, es pieza clave y fundamental para lograr un aprovechamiento integral, e impactar de manera positiva el ámbito económico, social y ambiental.

Se espera continuar contribuyendo a la protección y cuidado ambiental, apostándole al crecimiento económico de la región, y minimizando los riesgos causados por la acumulación y degradación de estos residuos en el ambiente.

Se dio cumplimiento así, a la línea que enmarco este proyecto; la línea de productividad, competitividad e innovación, que tiene como objetivo apoyar el desarrollo productivo, tecnológico y empresarial de la región y el país. Desde el área de ingeniería industrial, se logró integrar la innovación a los procesos, procedimientos y técnicas tendientes al aprovechamiento integral de los recursos.

RECOMENDACIONES

Debido a que la que la técnica implementada de deshidratación, requiere de energía solar, y por este motivo, el proceso podría verse afectado por las condiciones climáticas, para lo cual se recomienda utilizar el mecanismo de convección forzada, mediante ventiladores u otros equipos.

El uso de altas temperaturas puede alterar las características físico-químicas de los residuos, por lo cual se recomienda tener una medición más rigurosa de esta variable, con el fin de no afecte ni altere las propiedades de estos.

Se recomienda además, realizar el respectivo Plan de Manejo Integral de residuos sólidos, con el fin de alinear el proceso de recolección y tratamiento con la política de este campo vigente.

BIBLIOGRAFÍA

Donn, S., Wheatley, RE, McKenzie, BM, Loades, KW y Hallett, PD (2014). La mejora de la fertilidad del suelo por la modificación del compost aumenta el crecimiento de las raíces y el refuerzo del suelo superficial en las pendientes. *Ingeniería ecológica*. p. 58-75.

Olivo, A. V., Santillán, V. C., Rodríguez, E. A. G., & García, M. T. G. (2004). Alimentos Balanceados Para Animales A Partir De Residuos Orgánicos. *Conciencia Tecnológica*, (26).

Muñoz, J. M., Muñoz, J. A., & Rojas, C. M. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.p. 23-82.

Sudharmaidevi, CR, Thampatti, KCM y Saifudeen, N. (2017). Producción rápida de fertilizantes orgánicos a partir de residuos degradables mediante procesamiento termoquímico. *Revista Internacional de Reciclaje de Residuos Orgánicos en la Agricultura*. P. 11-25.

Incropera P. Frank, DeWitt P. David., Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall. [1999] Ciudad de México, México.

UNESCO, Fundación Celestina Pérez de Almada, COSUDE: Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación. Guía de uso de secaderos solares de frutas legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. [2005] Asunción, Paraguay.

Agro Waste, Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación, Agrupal, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Secado Solar. [2014] Unión Europea.

CEC. 2017. Characterization and Management of Food Loss and Waste in North America. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation.

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS - UAESP. Guía Técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. Bogotá.co. Sec. La UAESP. p. 17-21.

I. Puertas. —Modelado y construcción de un secadero solar hibrido para residuos biomásicosll. Tesis doctoral, Badajoz: Universidad de Extremadura, España. 2005.

J. Kreider et al. Solar energy handbook. Fundamentals of solar radiation, Chapter 2. New York, McGraw hill. 1981.

O. V. Ekechukwu. —Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy Conversion & Management*, vol 40, No 6. (1999), pp. 475-499

A. A. El-Sebaili y S.M. Shalaby. —Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol 16 (2012), pp. 45-66

Brosius, M. R., Evanylo, G. K., Bulluck, L. R., y Ristaino, J. B. (1998). Comparison of commercial fertilizer and organic by-products on soil chemical and biological properties and vegetable yields.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo

C. (2007). Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal*, 99, 973-983.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMayA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura.

Manual de Secado Solar Técnico de Alimentos. T. Vazquez y otros, Energetica y FAKT. Cocha-bamba, Bolivia, 1997.

Relevamiento de secaderos solares agrícolas. Brace Research Institute. 1975. Canada.

Pires A, Martinho, Chang NB. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*. 2011

Juul N, Münster M, Ravn H, Söderman M. Challenges when performing economic optimization of waste treatment: A review. *Waste Management*. 2013

Ahmed Bazmia A, Zahedia G. Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011 October; 15(3480 -3500).

CA. Resolución 1023 de 1997. Por la cual se dictan disposiciones sobre la distribución, comercialización y venta de insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para la siembra. Bogotá D.C.

ICA. Resolución 375 de 2004. Por la cual se dictan las disposiciones sobre registro y control de bioinsumos y extractos vegetales de uso agrícola en Colombia. Bogotá D.C. 32

ICA. Resolución 957 de 2008. Por la cual se definen las condiciones para el uso de la gallinaza y pollinaza para la fabricación de fertilizantes orgánicos y acondicionadores de suelos en el territorio Nacional. Bogotá D.C.

Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte, informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 2014

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Oficina de Investigación y Desarrollo. EPA 600-R-14-240.

ANEXOS

BASURA ÚTIL, MADE IN HUILA

EL TIEMPO

Edgar Garzón, un huilense de pura cepa nacido en Villa Vieja, se dio a la tarea de inventar una máquina para procesar residuos sólidos de origen vegetal. Mejor dicho, de darle un mejor destino a los desperdicios de cocina.

Por: ADRIANA PALACIO GARCES. Corresponsal de EL TIEMPO

15 de febrero 2000. 12:00 a.m.

De esta forma logró que las cáscaras de plátano, yuca, papa y frutas, y los residuos de las legumbres, verduras y tubérculos..., todo lo que cae a las bolsas de basura después de una faena gastronómica, pudieran convertirse en alimento para animales y abono para cultivos. Con otra ventaja. Según explica Garzón su proceso puede hacerse en un día. A diferencia de países industrializados como Estados Unidos y Alemania donde existe una tecnología parecida, pero los desechos orgánicos son almacenados durante 45 días, para luego convertirlos en compost, un abono para cultivos.

Mi invento radica en que en un solo día con la basura fresca se realiza el procedimiento físico-químico sin necesidad de almacenamiento. Y el material obtenido, un granulado seco, sirve también para el engorde de animales, afirma Garzón. Aún más, con el invento de este huilense también se pueden procesar la cacota del cacao y del café, la cascarilla del arroz y la torta de algodón. Otra ventaja si se considera que estos desechos son altamente contaminantes. Según los cálculos de Garzón, de aplicarse este proceso en el Huila se evitaría que cerca de 100 mil toneladas de estos elementos dañinos llegaran a los rellenos sanitarios.

La maquinaria piloto de este invento, que hoy procesa una tonelada de basura diaria, fue instalada en una finca a las afueras de Neiva donde funciona la empresa Ingarzón. Un objetivo que se impuso por la perturbación que le causaba la impotencia del país para solucionar la problemática de las basuras que día tras día se acumulan en grandes lotes generando daños al ecosistema y elevados costos para su manejo.

El proyecto lo puso en práctica gracias a su experiencia como instructor industrial, fundidor, investigador, educador ambiental y físico matemático. Claro que concretar este proyecto no fue fácil. Primero debieron pasar tres años para que el Ministerio de Desarrollo le otorgara la patente de su invento.

En 1982 inició el trabajo de campo y durante seis meses interactuó con la comunidad del barrio las Granjas de Neiva. A través de charlas, encuestas y

talleres determinó que la gente estaba cansada, sobre todo, de que su basura solo fuera recogida tres veces a la semana y que los perros hicieran de las suyas en las esquinas dándole mal aspecto al barrio.

Sin fronteras Ahora la idea de Edgar Garzón es vender la tecnología a todos los municipios del Huila y del resto del país que quieran medírsele a la novedad. Hasta el momento ha hecho contactos con la Dorada, Mocoa, Medellín e incluso con los países del Pacto de Cartagena, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia. De instalarse la tecnología en los municipios el ahorro de dinero sería significativo, señala Garzón, quien para dar un ejemplo explica el caso de Neiva. Allí la Administración Municipal canceló 26 mil millones de pesos a la firma Aseo Total para el manejo de las basuras y del relleno sanitario. Neiva produce cerca de 300 toneladas diarias de desechos.

Si se montara la planta física y la maquinaria para procesar 100 toneladas de basuras diarias, esta tendría un costo cercano a los cuatro mil 500 millones de pesos. La ventaja es que con este proceso desaparecería el relleno sanitario y la plata que se entierra para construirlo y con él los factores contaminantes y los malos olores , dice Garzón. Imagínense un mundo sin rellenos sanitarios , exclama.

Otras ventajas de este invento tiene que ver con que el proceso genera empleo, permite recuperar la inversión a corto plazo y la obtención de un producto final de alto contenido proteínico y ciento por ciento natural, son otras ventajas que Darío Garzón le encuentra a su máquina. Aunque destaca también que como en el proceso no se involucran químicos ni acelerantes se obtiene un producto que permitiría reactivar la cría de pollos, ganado y cerdos. Y todo a bajo costo, enfatiza.

Cordial saludo:

A continuación, encontrará una encuesta diseñada con el fin de conocer el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en su hogar o establecimiento. La información aquí suministrada será sólo para fines de investigación académica. Agradecemos su colaboración respondiendo las siguientes preguntas:

Fecha: ____/____/____

Hogar

Empresa

1. Por favor marque con una equis (x) su estrato socioeconómico:

a. 1 b. 2 c. 3 d. 4 e. 5 o más

2. El barrio al cual pertenece es: _____

3. ¿Sabe que son los residuos sólidos orgánicos? (En caso de no conocer el concepto, el encuestador le brindará brevemente la información)

a. Si _____ b. No _____

4. ¿Qué tipo de residuos genera en mayor cantidad? (puede seleccionar más de una opción)

- a. Residuos orgánicos _____
- b. Papel y cartón _____
- c. Plástico _____
- d. Vidrio _____
- e. Otro _____ ¿Cuál? _____

5. Seleccione la cantidad aproximada de residuos sólidos orgánicos que se generan en un día:

- a. Menos de 1Kg _____
- b. Entre 1Kg y 3Kg _____
- c. Entre 3Kg y 5Kg _____
- d. Entre 5 Kg y 10 Kg _____
- e. Más de 10 Kg _____
- e. No se genera este tipo de residuos _____

6. ¿Sabe qué es separación en la fuente?

a. Si _____ b. No _____

7. ¿Realiza usted separación en la fuente?

a. Si _____ b. No _____ c. Algunas veces _____

8. Si la respuesta anterior fue negativa, ¿cuál considera usted que es el principal factor que le impide realizar separación en la fuente de sus residuos?

- a. No sabe cómo hacerlo _____
- b. Por falta de tiempo _____
- c. No lo considera importante _____
- d. Considera que genera muy pocos residuos _____

9. Si la respuesta 6 fue positiva, ¿qué tipos de residuos separa? (Puede seleccionar más de una opción)

- a. Plásticos _____
- b. Papel y cartón _____
- c. Orgánicos _____
- d. Vidrio _____
- e. Otros residuos _____ Especifique: _____

10. Seleccione el recipiente que generalmente utiliza para depositar estos residuos:

- a. Canecas _____
- b. Bolsas _____
- c. Cajas _____
- d. Cielo abierto _____
- e. Otro: _____ Especifique: _____

11. ¿Sabía que los residuos orgánicos se pueden aprovechar para la elaboración de compost o abono orgánico?

- a. Si _____
- b. No _____

12. Seleccione los días en que el servicio operador de recolección de basura pasa por su domicilio:

a.Lunes	b.Martes	c.Miércoles	d.Jueves	e.Viernes	f.Sábado	g.Domingo
---------	----------	-------------	----------	-----------	----------	-----------

12. ¿Ha tenido alguna de las siguientes problemáticas con respecto a la disposición de sus residuos?

- a. Generación de olores _____
- b. Aparición de plagas (mosquitos, moscas, roedores, entre otras) _____
- c. Generación de lixiviados _____
- d. Ninguna _____
- e. Todas las anteriores _____

13. ¿Usted estaría dispuesto a separar los residuos orgánicos generados, y donarlos para la producción de compost o abono orgánico?

- a. Si _____
- b. No _____

14. Si la respuesta anterior fue positiva, por favor indique un medio de contacto (celular o email) para la respectiva recolección de estos residuos: _____

¡Muchas gracias por su colaboración!

Anexo C. Desarrollo de la campaña -Cierra el ciclo de tus residuos Sólidos orgánicos

La campaña realizada se desarrolló paralelamente a la recolección de la información, durante los meses de diciembre a febrero.

