

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES, AUMENTO DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA EN LA EMPRESA FOMM CÍA. LTDA., Y PROPUESTA DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS MEDIANTE COMPOSTAJE AEROBIO**

**PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL PROCESO DE CULTIVO, PRODUCCIÓN DE ACEITE Y HOJAS SECAS DE MORINGA DE LA EMPRESA FOMM CÍA.LTDA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ERIKA MONSERRATH BUENAÑO FIALLOS**  
Erika.buenano@epn.edu.ec

**DIRECTOR: GISSELA ELIZABETH VILAÑA TRUJILLO**  
gissela.vilana@epn.edu.ec

**DMQ, Julio 2022**



## **CERTIFICACIONES**

Yo, ERIKA MONSERRATH BUENAÑO FIALLOS declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**ERIKA BUENAÑO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ERIKA MONSERRATH BUENAÑO FIALLOS, bajo mi supervisión.

---

**GISSELA VILAÑA**

**DIRECTORA**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ERIKA MONSERRATH BUENAÑO FIALLOS

GISSELA ELIZABETH VILAÑA TRUJILLO

## DEDICATORIA

*“No es hasta que estamos perdidos que comenzamos a comprendernos a nosotros mismos”*

*Henry David Thoreau*

Creo firmemente en el concepto de que realmente entiendes cómo vivir, como amarte a ti mismo, cómo ser, a partir de la cercanía a la muerte y de rechazar todo aquello que la gente quería que fueras. Entonces dejas de lidiar esa batalla campal contigo mismo.

No existe comportamiento, acción, trabajo y mucho menos habilidades o capacidades que no puedas tener o alcanzar sólo porque alguien no puede ver o creer que están en ti. Independientemente del rol que tenga en tu vida, ya sea familiar, amistad, trabajo o educación. No podemos malgastar la vida tratando de que nos entiendan, podemos aprovecharla para darnos soporte y hacer lo que nos haga felices, ese es el fin del ser humano, y no hay estándar o medida ajena que pueda decirte cómo alcanzar tu propia felicidad.

Dedico todos mis triunfos a mi madre, no he conocido amor más puro que ese. Jamás he necesitado nada más que regresar a ver en mi camino y saber que está allí, el mismo cruce de miradas que en mi primer día en el kínder, en mi transitar llamado vida. Abrazo también a mis hermanos a través de la tinta, mucho de lo que soy es tan solo un pequeño espejo de lo grandiosos que son ellos. A mi madrina y a la Señora Charito en conjunto con mis dos primos Dani y David, quienes acompañaron mis pasos en una nueva ciudad con mucho amor. Y sobre todo a quién acompañó mis procesos y etapas de la mano con enseñanzas y amor, Andrés Z, que todo le sea dado, porque todo lo ha merecido.

## **AGRADECIMIENTO**

Más allá de la familiaridad siempre están aquellos que en la oscuridad son luz. Agradezco a la trabajadora social Jenny Tubón quién nos ha sostenido a muchos en nuestros procesos personales. A Msc. Natalia Valencia, y Msc. María Belén Aldás por ser bondad, inspiración y cátedra.

Agradezco además a la Msc. Gissela Vilaña por su paciencia y acompañamiento siempre en función de los estudiantes, siempre presta para brindar apoyo. A mis compañeras del Trabajo de Integración Curricular, Josselyn Mogro, Isaac Adrián, y en especial a Cynthia Granja, excelente amiga y compañera.

Estrecho mi cordial agradecimiento por la apertura a esta investigación, y la información entregada, por parte de la Ing. Silvia Quinde y la empresa FOMM Cía. Ltda.

## Tabla de contenido

<b>1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
1.3 Alcance.....	16
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Residuos Sólidos Orgánicos.....	17
2.1.1 Residuos .....	17
2.1.2 Residuos sólidos orgánicos (RSO).....	17
2.1.3 Clasificación de los RSO .....	18
2.1.4 Componentes de los RSO.....	18
2.1.5 Gestión de los RSO.....	18
2.2 Balance de masa.....	20
2.3 Compostaje .....	21
2.3.1 Parámetros por controlar en el compostaje.....	21
2.3.2 Fases del compostaje.....	22
2.3.3 Ventajas y Desventajas del Compostaje .....	23
2.3.4 Sistemas y Técnicas de Compostaje.....	24
2.4 Evaluación de impactos ambientales (EIA) .....	27
2.4.1 Impacto Ambiental.....	27
2.4.2 Evaluación del Impacto Ambiental.....	27
2.4.3 Metodologías de EIA .....	27
2.4.4 Metodología “AD-HOC” .....	28
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>

3.1	Zona de Estudio .....	28
3.1.1	Descripción de la Empresa.....	28
3.1.2	Ubicación Geográfica .....	29
3.2	Tipo de investigación .....	30
3.3	Caracterización de RSO .....	30
3.3.1	Balance de Masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de producción de aceite de Moringa.....	31
3.3.2	Balance de masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de producción de hojas secas de Moringa .....	32
3.3.3	Balance de Masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de cultivo .....	34
3.3.4	Tasa de Generación Total de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo .....	35
3.3.5	Determinación de la cantidad de RSO generados en el proceso de cultivo.....	35
3.4	Determinación del Volumen y Densidad de los RSO en la producción de hojas secas y el proceso de cultivo de moringa. ....	37
3.5	Evaluación de Impacto Ambiental .....	40
3.6	Alternativas de compostaje aerobio a través de Parámetros Técnicos y Económicos.....	46
3.6.1	Diseño de composteras.....	46
3.6.2	Elección de la mejor alternativa de compostaje aerobio.....	52
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
4.1	Caracterización de los RSO .....	54
4.1.1	Cálculo de la tasa de generación mensual de RSO en el proceso de producción de Aceite de Moringa .....	54
4.1.2	Cálculo de la tasa de generación mensual de RSO en el proceso de producción de Hojas Secas de Moringa .....	56



4.1.3	Cálculo de la tasa de generación de RSO en el proceso de cultivo ....	57
4.1.4	Cálculo de Tasa de Generación Total de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo.....	58
4.2	Composición de los RSO.....	59
4.3	Cálculo de volumen y densidad de los RSO.....	60
4.4	Evaluación de Impacto Ambiental .....	62
4.4.1	Análisis de los impactos en la matriz Ad hoc.....	62
4.5	Diseño de composteras .....	66
4.5.1	Diseño de composteras en pilas móviles triangulares, rectangulares y trapezoidales .....	66
4.5.2	Diseño de composteras en pilas estáticas rectangulares con ventilación pasiva	70
4.5.3	Diseño de composteras horizontales.....	71
4.6	Elección de las alternativas de compostaje aerobio .....	72
4.6.1	Evaluación de parámetros técnicos cualitativos .....	72
4.6.2	Evaluación de parámetros técnicos cuantitativos.....	73
4.6.3	Evaluación de parámetros económicos.....	74
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
5.1	Conclusiones .....	79
5.2	Recomendaciones.....	81
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>I</b>
	ANEXO I: Evaluación de Impactos Ambientales proceso de cultivo, elaboración de aceite y hojas secas de Moringa .....	I
	ANEXO II: Diseño de pila Rectangular Móvil para Compostaje Aerobio .....	VII

ANEXO III: Diseño de Pila Triangular Móvil para Compostaje Aerobio .....	IX
ANEXO IV: Diseño de Pila Trapezoidal Móvil para Compostaje Aerobio .....	X
ANEXO V: Diseño de Pila Estática con Ventilación Pasiva.....	XI
ANEXO VI: Diseño de Compostera Horizontal.....	XI

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los Residuos Sólidos Orgánicos.....	18
<b>Tabla 2.</b> Fases del compostaje según la temperatura.....	22
<b>Tabla 3.</b> Principales ventajas y desventajas del compostaje.....	24
<b>Tabla 4.</b> Datos semanales de materia prima, hojas frescas y hojas aceptadas en la producción de hojas secas de Moringa.....	33
<b>Tabla 5.</b> RSO generados en el proceso cultivo.....	36
<b>Tabla 6.</b> RSO generados en el proceso de producción de hojas secas de Moringa .....	38
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones del balde y altura de residuos.....	39
<b>Tabla 8.</b> Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales por el método AD-HOC .....	41
<b>Tabla 9.</b> Valoración de las características de los IA.....	44
<b>Tabla 10.</b> Reclasificación de los Impactos Ambientales de acuerdo con su significación	45
<b>Tabla 11.</b> Diagrama óptimo de Pareto .....	45
<b>Tabla 12.</b> Parámetros técnicos .....	52
<b>Tabla 13.</b> Calificaciones asignadas .....	53
<b>Tabla 14.</b> Intervalos de favorabilidad para la elección del método de compostaje .....	53
<b>Tabla 15.</b> Parámetros técnicos cuantitativos .....	54
<b>Tabla 16.</b> Análisis de costos unitarios.....	54
<b>Tabla 17.</b> Tasa de generación mensual de RSO en la producción de aceite de Moringa.	55
<b>Tabla 18.</b> Tasa de generación mensual de la producción de hojas secas de Moringa.....	56
<b>Tabla 19.</b> Tasa de generación mensual del proceso de cultivo.....	58
<b>Tabla 20.</b> Tasa de generación total mensual de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo.....	59
<b>Tabla 21.</b> Composición de los RSO.....	59
<b>Tabla 22.</b> Volumen y densidad de los residuos provenientes de la producción de hojas secas de Moringa y el proceso de cultivo.....	60
<b>Tabla 23.</b> Porcentaje de volumen ocupado por cada residuo .....	61
<b>Tabla 24:</b> Matriz Ad Hoc-Empresa FOMM.....	64
<b>Tabla 25:</b> Tasa de generación y densidad de los RSO producidos por la Empresa FOMM en el proceso de cultivo de la Moringa.....	66
<b>Tabla 26.</b> Recomendación RAS (2000) y Ávila (2018) para el diseño de composteras....	67
<b>Tabla 27:</b> Diseño de composteras móviles triangulares, rectangulares y trapezoidales...	69
<b>Tabla 28:</b> Diseño de compostera con ventilación pasiva .....	70
<b>Tabla 29:</b> Diseño Compostera Horizontal .....	72

<b>Tabla 30:</b> Comparación de parámetros técnicos cualitativos entre las composteras móviles, con ventilación pasiva y horizontales. ....	73
<b>Tabla 31:</b> Comparación de parámetros técnicos cuantitativos entre las composteras en pilas móviles, estáticas con ventilación pasiva y horizontales. ....	74
<b>Tabla 32:</b> Análisis de costos de construcción de pilas móviles rectangulares. ....	75
<b>Tabla 33:</b> Análisis de costos de construcción de pilas móviles triangulares. ....	76
<b>Tabla 34:</b> Análisis de costos de construcción de pilas móviles trapezoidales. ....	76
<b>Tabla 35:</b> Análisis de costos de construcción de pilas rectangulares con ventilación pasiva. ....	77
<b>Tabla 36:</b> Análisis de costos de construcción de composteras horizontales. ....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Pirámide de la gestión integral de residuos Fuente: (Rivera, 2018).....	19
<b>Figura 2.</b> Temperatura y pH en el proceso de compostaje .....	23
<b>Figura 3.</b> Compostera en pilas con ventilación pasiva .....	25
<b>Figura 4 .</b> Compostera vertical .....	26
<b>Figura 5.</b> Compostera horizontal .....	26
<b>Figura 6.</b> Mapa de ubicación de la empresa FOMM Cía. Ltda.....	30
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo del proceso de producción de aceite de Moringa.....	31
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo de la producción de hojas secas de Moringa .....	32
<b>Figura 9.</b> Diagrama de flujo del proceso de cultivo de moringa .....	34
<b>Figura 10.</b> Poda de pasto de cobertura .....	35
<b>Figura 11.</b> Pesaje de pasto de cobertura podado.....	36
<b>Figura 12.</b> Pesaje de RSO generados en la producción de hojas secas de Moringa.....	37
<b>Figura 13.</b> Separación de hojas frescas y hojas maduras o secas .....	38
<b>Figura 14.</b> Medición de las dimensiones del balde usado en el pesaje de RSO .....	39
<b>Figura 15:</b> Tanque comercial azul capacidad 200 l .....	50
<b>Figura 16.</b> Composición de los RSO provenientes de la producción de aceite .....	56
<b>Figura 17.</b> Composición de los RSO provenientes de la producción de hojas secas de Moringa.....	57
<b>Figura 18.</b> Diagrama de barras de la composición de los RSO .....	60
<b>Figura 19.</b> Diagrama de barras del % de volumen ocupado por los RSO.....	61
<b>Figura 20:</b> Porcentaje de favorabilidad de los métodos de compostaje aerobios analizados. ....	73
<b>Figura 21:</b> Comparación de costos de construcción de composteras aerobias, rectangulares, triangulares, trapezoidales, rectangulares con ventilación pasiva y horizontales. ....	78

## SIGLAS

RSO: Residuos sólidos orgánicos

SM: Semillas de Moringa

SR<sub>1</sub>: Semillas rechazadas

SM<sub>1</sub>: Semillas de Moringa limpias

SR<sub>2</sub>: Residuos de semillas

AM<sub>1</sub>: Aceite de Moringa prensado

SR<sub>3</sub>: Impurezas del aceite

AM<sub>2</sub>: Aceite de Moringa filtrado

SR<sub>3</sub>\*: Impurezas de aceite de la segunda filtración

RM: Ramas de moringa

HR<sub>1</sub>: Tallos y ramas

HR<sub>1MD</sub>: Tallos y ramas pesados en el muestreo directo

HF: Hojas frescas de Moringa

HR<sub>2</sub>: Hojas frescas de Moringa rechazadas

HR<sub>2MD</sub>: Hojas frescas de Moringa rechazadas pesados en el muestreo directo

HA: Hojas aceptadas

PC: Pasto de cobertura

R<sub>4</sub>: Residuos producto del corte de pasto de cobertura

R<sub>4MD</sub>: Residuos producto del corte de pasto de cobertura pesados en el muestreo directo

NAG: Nivel de afectación global

IA: Impacto Ambiental

X<sub>RSO</sub>: Tasa de generación de RSO

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo proponer una alternativa de compostaje aerobio para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en el proceso de cultivo, producción de aceite y hojas secas de Moringa de la empresa FOMM Cía.Ltda.

Se inició con la caracterización de los residuos, mediante un diagrama de flujo y se encontró como RSO a SR1, SR2, SR3, SR3\* generados por la producción de aceite; HR1, HR2 generados por la producción de hojas secas; y R4 generados en el proceso de cultivo. A continuación, con un balance de masa y un muestreo directo se obtuvo tasas de generación, cantidades, densidades y volúmenes, parciales y totales.

Se desarrolló una evaluación de impactos ambientales con la metodología Ad Hoc, y se obtuvo impactos negativos, con NAG entre -60 y -64, considerados con severidad media con efecto sobre el suelo y aire. Además, se determinó impactos positivos con favorabilidad media en los factores suelo, agua, aire y socioeconómicos con un NAG entre 63 y 64 en las actividades de generación de compost, demostrando su gran aporte a la mitigación de impactos ambientales.

A continuación, se procedió al diseño de los sistemas de compostaje. Se propuso cinco alternativas de compostaje aerobio, cuatro en sistemas abiertos (pilas de compostaje móviles rectangulares, triangulares, trapezoidales y pila de compostaje rectangular estática con ventilación pasiva) y uno de sistema cerrado (compostera horizontal). Mediante un análisis de parámetros técnicos cualitativos y cuantitativos, y parámetros económicos, se determinó que la mejor alternativa de compostaje aerobio para la empresa FOMM Cía. Ltda. son las composteras en pilas móviles rectangulares debido a que son económicas, requieren de menor espacio para su construcción, ocupan poco material y equipos en comparación con las composteras estudiadas.

**Palabras clave:** Compostaje, pilas de compostaje, Residuos Sólidos Orgánicos, Moringa

## ABSTRACT

This research proposal focuses on an alternative method for aerobic composting to reuse Solid Organic Residues such as oil from the Moringa plant seeds as well as their dry leaves generated from the cultivation and production process of the Moringa plant at FOMM Cía.Ltda company.

The study started with the characterization of solid organic residues (RSO), using a Flow diagram. RSO's were broken down as SR1, SR2, SR3, SR3\* for the seed oil production. HR1,HR2 were the dry leaves production. R4 which made up the residual solid waste created by the cultivation process. With mass balance and direct sampling, the generation rates, quantities, partial and total volumes and densities were obtained.

The Ad Hoc matrix methodology was used to identify the environmental impact assessment. It showed negative impacts with NAG ranges between -60 and -64 which are considered medium severity impact level for soil and air. Additionally, positive impacts with NAG range between 63-64 were determined with the highest favorable medium impact level in soil, air, and water with potential in reducing social-economical expenses. This justifies the use of aerobic composting as a suitable environmental alternative that is cost effective.

Five aerobic composting alternatives proposed were designed. Four were in open systems like rectangular, triangular, and trapezoidal turned windrow composting. One was a closed system passively aerated composting method. Through qualitative and quantitative analysis of technical and economic parameters it was determined that the rectangular windrow composting shape was the most appropriate alternative for aerobic composting for both open and closed systems for the company. The economic benefits, space saving, and fewer materials to build in comparison to the other composting alternatives make this the most optimal model in this proposal to benefit FOMM Cía. Ltda.

**Key Words:** Composting, Windrow Composting, Solid Organic Residues, Moringa



# 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

## 1.1 Antecedentes

Desde sus inicios Ecuador ha tenido a la agricultura como una de las principales actividades económicas del país, ya que contribuye de manera amplia a la generación de capital (Viteri & Tapia, 2018). Este sector agrícola es de gran importancia, no solo por el aporte al crecimiento económico sino también porque garantiza la seguridad alimentaria de la población (Riera, Maldonado, & Palma, 2018). Durante el 2007 al 2014, el sector agrícola representó el 39% del PIB de la manufactura no petrolera, con una tasa de crecimiento del 4.3% (Riera et al., 2018).

Sin embargo, además de estos aspectos positivos mencionados, las actividades agrícolas en todas sus etapas generan subproductos o residuos agroindustriales que son de gran importancia debido a que se producen en grandes cantidades, convirtiéndose en un problema para el agricultor, para el medio ambiente y sobre todo para muchas empresas dedicadas a la explotación y exportación agrícola, porque estos RSO no solo generan gastos adicionales, sino también contaminación visual y ambiental (Vargas & Pérez, 2018).

La quema de residuos a campo abierto es la técnica más económica utilizada por el sector agrícola para eliminar los residuos orgánicos e incluso inorgánicos, porque de manera fácil disminuye el volumen del material, limpia, libera nutrientes, despeja el área de cultivo e inclusive elimina plagas (Chávez & Rodríguez, 2016).

En el país, la empresa FOMM Cía.Ltda. cuenta con 2.5 hectáreas de cultivo de moringa, la cual se utiliza para sus procesos productivos. Entre sus principales actividades agrícolas están la producción de aceite y hojas secas de Moringa (MoringaEC, s. f.). Estas actividades generan RSO en todas sus fases (siembra, mantenimiento, cosecha, producción, etc.). Los RSO producidos son tratados medianamente por la empresa ya que cuenta con un sistema de compostaje aerobio realizado de manera empírica por el personal. Sin embargo, el sistema ha tenido resultados desfavorables debido a la ausencia de caracterización de los residuos, el desconocimiento de los recursos necesarios y el crecimiento acelerado de maleza en un corto período de tiempo y en grandes cantidades.

Por lo cual, el principal propósito de este proyecto es el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos provenientes del proceso de cultivo, de la producción de aceite y de las hojas secas de moringa, con el fin de reducir la cantidad de desechos orgánicos y mitigar el impacto ambiental y paisajístico. Aquello permitirá un beneficio económico y ambiental para la empresa a partir de la selección e implementación del sistema de compostaje aerobio diseñado para la correcta gestión de los residuos sólidos orgánicos, impulsando una mejora en la calidad del suelo, que a su vez implica una mejor producción, reduciendo además la compra de fertilizantes orgánicos a terceros que además evita residuos provenientes de ese tipo de productos y gastos adicionales.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer una alternativa de compostaje aerobio para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en el proceso de cultivo, producción de aceite y hojas secas de Moringa de la empresa FOMM Cía.Ltda, para producir compost con potencial de uso en procesos agrícolas de la empresa.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Caracterizar los residuos sólidos orgánicos (RSO) generados por las actividades económicas de cultivo, producción de aceite y hojas secas de Moringa para determinar la cantidad, composición, densidad y tasa de generación de residuos.
2. Evaluar el impacto ambiental que generan los residuos sólidos orgánicos (RSO) del cultivo, la producción de aceite y las hojas secas de Moringa, a través de la observación y la elaboración de una matriz de impactos ambientales "Ad hoc".
3. Analizar las alternativas de compostaje aerobio para determinar la opción más viable en base a parámetros técnicos y económicos.

## **1.3 Alcance**

El presente trabajo abarca de caracterización de RSO para diseñar sistemas de compostaje aerobio que permitan tratar los RSO generados por la empresa FOMM. Se usará herramientas como: Balance de masa, muestreo directo, cálculo del volumen, densidad y composición de RSO. Los datos se obtendrán de bibliografía, bitácoras de la

empresa FOMM Cia Ltda y de una visita a campo. La elección de la mejor alternativa de compostaje se logrará con una comparación entre 5 alternativas de compostaje aerobio que evaluarán parámetros técnicos y económicos de cada uno de los métodos sugeridos. Los resultados obtenidos permitirán que la empresa FOMM Cia Ltda, genere composte de calidad a partir de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo.

Es importante mencionar que la pandemia COVID 19, limitó la investigación, ya que no se pudo realizar más de una visita a campo, debido a la situación que se enfrentaba a nivel global.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Residuos Sólidos Orgánicos**

#### **2.1.1 Residuos**

Se considera como residuo a todo elemento, material o sustancia que se genera como producto de las actividades domésticas e industriales (Altadill et al., 2009; CELEC, s. f.), y se desecha una vez que ha concluido con su vida útil o ha perdido su valor (CELEC, s. f.). La NTE INEN 2841 (2014), menciona que los residuos pueden ser susceptibles para el aprovechamiento y transformación en la elaboración de un nuevo bien, al cual se le suministra un valor económico agregado.

#### **2.1.2 Residuos sólidos orgánicos (RSO)**

Los residuos orgánicos poseen como principal característica el poder de desintegrarse o degradarse naturalmente hasta convertirse o transformarse en otro tipo de materia orgánica (Garita & Rojas, 2013). Estos residuos se originan en diversas actividades que incluyen el sector doméstico, industrial, agrícola, entre otros (Altadill et al., 2009). Se dice que los RSO son todo material que proviene de especies de flora o fauna que son susceptibles a descomposición por microorganismos e incluye desechos de jardín, de poda, sobras, madera (exceptuando los de construcción y demolición), etc. (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2017).

### 2.1.3 Clasificación de los RSO

IPES (2003), clasifica a los residuos orgánicos en 2 grupos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de los Residuos Sólidos Orgánicos

<b>Tipo de clasificación</b>	<b>Desglose</b>
Según su fuente de generación	Provenientes del barrido de calles Institucionales De mercados Industriales Agrícolas Domiciliarios
Según su naturaleza y/o características físicas	Residuos de alimentos Estiércol Restos vegetales Papel y cartón Cuero Plásticos

Fuente: (IPES, 2003)

### 2.1.4 Componentes de los RSO

IPES (2003) hace referencia que la fracción orgánica de los RSO en su mayoría está conformada por: azúcares, féculas, aminoácidos y ácidos orgánicos, hemicelulosa, celulosa, grasas, aceites, ceras, lignina, lignocelulosa y proteínas.

Es importante aludir, que en residuos sólidos urbanos y agrícolas la mayoría de los componentes orgánicos, se pueden convertir biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes (IPES, 2003).

### 2.1.5 Gestión de los RSO

El TULSMA, en el Acuerdo N°061, capítulo VI, sección I, artículo 55 hace mención que la gestión integral es un conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y

evaluación, cuyo fin es dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más idóneo, tomando en cuenta el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico (TULSMA, 2015).

En Ecuador, el manejo inadecuado de los residuos sólidos orgánicos es uno de los problemas ambientales más evidentes, ya que afecta a la salud y bienestar de la población con diferentes complicaciones ambientales como la contaminación del aire, agua, suelo y la alteración de la naturaleza. Según Gavilanes (2016), en el país, la agroindustria genera elevadas cantidades de RSO, conformados principalmente por tallos, hojas y frutos de carácter no comercial, así como por residuos procedentes de operaciones de poda, corte, clasificación y renovación de cultivos durante la cosecha y post-cosecha.

Los RSO producidos por el sector agroindustrial en su mayoría son descargados directamente en el ambiente, quemados de manera descontrolada o abandonados en terrenos que, con el tiempo o por acción del viento o la precipitación favorecen al bloqueo de los cauces de los ríos, dañan visualmente el paisaje y producen malos olores, causando contaminación ambiental (Riera, 2018).

Es necesario para lograr una gestión sostenible e integrada, disminuir y eliminar el vertido directo de RSO agroindustriales y priorizar campañas de educación ambiental que ayuden a la disminución de los residuos desde la fuente (Gavilanes, 2016). La Figura 1, muestra la pirámide de gestión de residuos dirigida a priorizar la reducción, reciclaje y compostaje ante la eliminación de residuos.



Figura 1. Pirámide de la gestión integral de residuos

Fuente: (Rivera, 2018)

IPES (2003), sugiere varios aspectos para el aprovechamiento de los RSO, los principales son: separación en la fuente, campañas de sensibilización y educación a la población,

vehículos acondicionados para el transporte de RSO y selección de áreas alejadas de las zonas urbanas para el reciclaje de RSO.

Existen muchas formas y técnicas para el aprovechamiento de los RSO. Entre las técnicas más conocidas se encuentran: i) Compostaje, ii) Lumbricultura, iii) Tratamiento térmico de RSO para alimentación de animales y iv) Biodigestión.

Antes de la elección de una de estas técnicas, es necesario una caracterización de los RSO que permita conocer cantidades y composiciones de los residuos mediante la aplicación de un balance de masa.

## 2.2 Balance de masa

Los balances de masa sirven para contabilizar flujos y los cambios de masa en un sistema en particular; a fin de analizar procesos de transformación (Noguera, 2020). Además, son una herramienta eficaz para el estudio de la operación de la planta de procesos y para la ubicación de posibles problemas que se pueden presentar (UnADM, 2018).

Para cualquier sistema, la ecuación general de balance o conservación está representada por la Ecuación 1, descrita a continuación:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Acumulación} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Entrada por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Salida por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{Generación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right] \quad (1)$$

Si no hay generación o consumo de materia dentro del sistema (Ver Ecuación 2)

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} \quad (2)$$

Si no existe acumulación o consumo, se considera un estado estacionario o uniforme (Ecuación 3).

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \quad (3)$$

Según un informe de la Universidad Tecnológica Nacional de la Plata (2016), en un balance de masa se debe definir el sistema mediante un diagrama de procesos, colocar los datos disponibles en el diagrama, observar las composiciones y los posibles cálculos de cada corriente; determinar las masas que se conocen fácilmente para cada corriente, seleccionar una base de cálculo adecuada para cada adición o sustracción a realizarse y asegurarse que el sistema esté bien definido.

Una vez logrado los seis pasos mencionados, se debe efectuar los balances de masa totales o parciales de cada componente, todo depende de la información que se necesita obtener.

Para el presente trabajo el balance de masa es un punto esencial que se ayuda a la elección y diseño de las técnicas de compostaje.

## **2.3 Compostaje**

El compostaje es una biotécnica, que controla procesos de biodegradación para la conversión de la materia orgánica en material húmico estable denominado compost (Proaño A & Rojas, 2020), en dicho proceso se efectúa una fermentación controlada de los residuos orgánicos que busca potenciar las condiciones de manejo, optimizar el tiempo y con ello la productividad (Proaño A & Rojas, 2020& Navarro, 1995)

### **2.3.1 Parámetros por controlar en el compostaje**

Para obtener un buen resultado en el proceso de compostaje es necesario tener en cuenta parámetros como: relación carbono/nitrógeno, humedad, porosidad, tamaño de partícula y temperatura.

**Relación carbono/ nitrógeno:** Este parámetro permite conocer el desarrollo y calidad del compostaje, es importante que se guarde una relación óptima C/N en un rango de 25:1 a 35:1 (Proaño A & Rojas, 2020).

**Humedad:** Durante el proceso de compostaje se debe buscar el óptimo de humedad que va entre el 40% y 60%. Si la humedad se ubica por encima del rango óptimo, puede producir putrefacción de materia orgánica. Por el contrario, si la humedad es demasiado baja, la cantidad de microorganismos disminuye y la materia orgánica no se logra descomponer. (Román et al., 2013 y MAE, 2020).

**Porosidad:** La porosidad permite que el agua fluya en el sustrato y contribuye a que el oxígeno se distribuya de manera más amplia, ayudando a la descomposición de la materia orgánica (Proaño A & Rojas, 2020). Para controlar este parámetro se debe adicionar material estructurante como el aserrín, cascarilla de arroz, cuesco de palma, entre otros (Navarro, 1995)

**Tamaño de partícula:** El tamaño de partícula debe tener aproximadamente 3 a 5 cm. Grandes tamaños generan baja disponibilidad de nutrientes para los microorganismos (Proaño A & Rojas, 2020).

**Temperatura:** Para el proceso de compostaje se debe controlar la temperatura por que será el parámetro principal que interviene en el crecimiento o disminución de microorganismos. En las etapas del compostaje se presentan cuatro diferentes fases: mesófila (15-45°C), termófila (45-70 °C), mesófila II (inferior a los 40°C) y la fase de maduración (temperatura ambiente) (Román et al., s. f.)

### 2.3.2 Fases del compostaje

El compostaje engloba procesos metabólicos, donde mediante la oxidación y el accionar de múltiples microorganismos la materia orgánica se degrada (MARM, 2020).

Cuando los microorganismos descomponen el carbono, nitrógeno y materia orgánica inicial se desprende calor, el mismo que medido a través de la temperatura, permite diferenciar cuatro etapas, mismas que son descritas en la Tabla 2 y Figura 2:

**Tabla 2.** Fases del compostaje según la temperatura

Fase	Descripción	Características
Mesófila	Alto crecimiento y multiplicación de microorganismos sobre los residuos. Comienza el proceso de compostaje gracias a la actividad microbiana. Los microorganismos utilizan las fuentes de C y N para generar calor. Se descomponen residuos pequeños, con baja complejidad química.	Temperatura: Aumenta hasta los 45°C. pH: Disminuye hasta cerca de 4.0 o 4.5. Tiempo de duración: De 2 a 8 días.
Termófila o de Higienización	Microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias termófilas. Se descomponen compuestos más complejos como: celulosa y la lignina. Se produce un aumento de pH. El calor generado en esta etapa destruye bacterias, contaminantes de	Temperatura: Mayores a 60°C. Tiempo de duración: Desde unos días hasta meses.



	origen fecal, quistes, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas.	
Enfriamiento o Mesófila II	La temperatura desciende y vuelven a crecer microorganismos mesófilos. Suele ser confundida con la fase de maduración por la baja temperatura. Aparecen hongos visibles. En esta etapa se agotan las fuentes de C y N.	Temperatura: Desciende menos de 40°C. pH: Se mantiene alcalino. Tiempo de duración: Varias semanas.
Maduración	Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos con carbono para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Se puede usar el compost para diversos fines agrícolas.	Temperatura: Ambiente. Tiempo de duración: 3 a 6 meses.

Fuente: (Román et al., s.f)

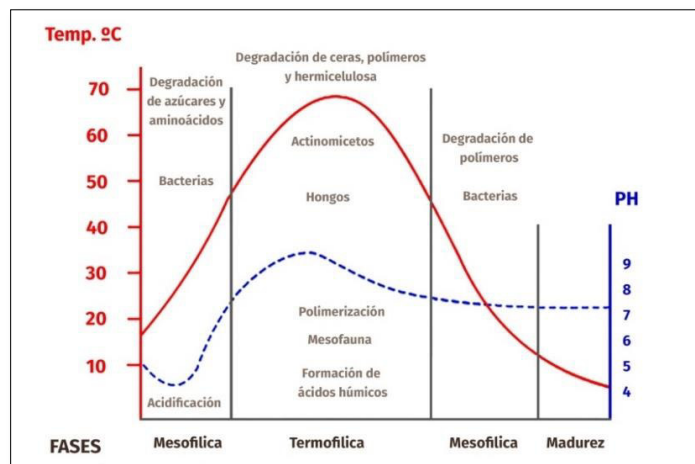


Figura 2. Temperatura y pH en el proceso de compostaje

### 2.3.3 Ventajas y Desventajas del Compostaje

El compostaje es una técnica ancestral utilizada durante varios años, principalmente por agricultores. En la actualidad, se usa para disminuir el porcentaje de residuos orgánicos en los vertederos y reducir los impactos ambientales que estos generan al aire, agua y suelo (Amigos de la Tierra, 2019). Antes de poner en marcha cualquier método de

compostaje es indispensable analizar las ventajas y desventajas de este método de reciclaje (Alvaro, 2019). La Tabla 3, detalla las principales ventajas y desventajas.

**Tabla 3.** Principales ventajas y desventajas del compostaje

<b>Ventajas</b>	Reducción de los RSU destinados a vertederos
	Fertilizante natural
	Recupera y recicla los recursos naturales
	Reducción de problemas de contaminación de suelos por presencia de lixiviados orgánicos
	Producto comercializable
	Genera ahorro en los municipios o industrias ya que reduce los gastos de recolección y gestión de RSO
<b>Desventajas</b>	Se necesita de instalaciones adecuadas para llevar a cabo el proceso
	Espacio
	El clima influye en el proceso
	Inversión en equipos

#### **2.3.4 Sistemas y Técnicas de Compostaje**

Para definir, si una técnica de compostaje es útil, Román et al., (s. f.), recomienda tener en cuenta factores como tiempo de proceso, espacio útil, gasto energético, seguridad higiénica, material de partida (residuos vegetales o animales) y condiciones climáticas.

En el presente trabajo de investigación los sistemas de compostaje se dividen en abiertos y cerrados, cabe recalcar que el término cerrado hace referencia al recipiente, más no a un entorno anaerobio.

### 2.3.4.1 Sistemas Abiertos

Estos sistemas son económicos y fáciles de poner en marcha. Son usados cuando existe gran cantidad y variedad de residuos orgánicos. En este sistema los residuos a compostar se colocan en pilas al aire libre o bajo cubierta (Román et al., s. f.; Tortosa, 2015). Los más conocidos son pila móvil y pila estática.

- **Pila móvil:** Este método implica el volteo manual o mecánico de los RSO. Al inicio se debe dejar reposar los RSO por un periodo de 7 días, pasado ese tiempo se transcurre a realizar el primer volteo, mismo que será repetido cada 15 días. Los volteos reducen las partículas grandes hasta homogenizarlas, mejoran la aireación, ayudan a la distribución de los microorganismos presentes en la pila y evita que se genere humedad en un solo punto, acelerando la producción. Existen algunos tipos de pilas móviles ya sean: triangulares, rectangulares, trapezoidales, entre otras.
- **Pila estática con ventilación pasiva:** Este tipo de composteras elimina la necesidad de realizar volteos manuales periódicamente ya que usan tuberías perforadas que permiten el ingreso de aire desde el exterior hasta la parte interna de la pila, suelen ser relativamente económicas (Junta de Andalucía, s. f.). La Figura 3, indica el diseño de una compostera en pilas con ventilación pasiva

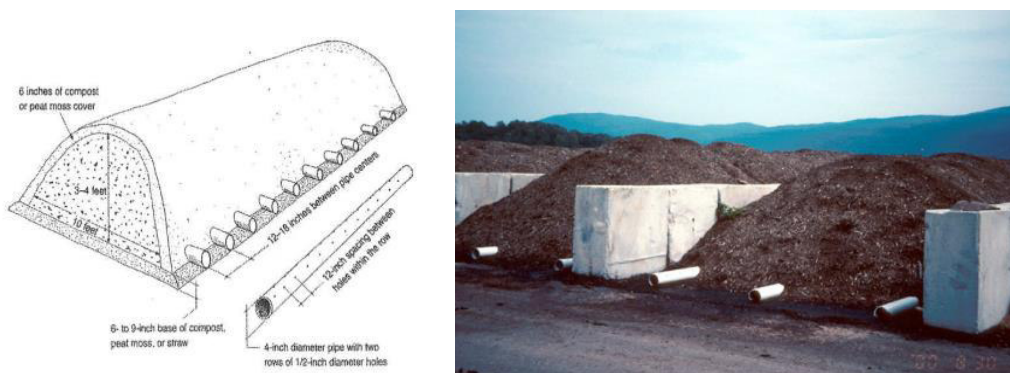


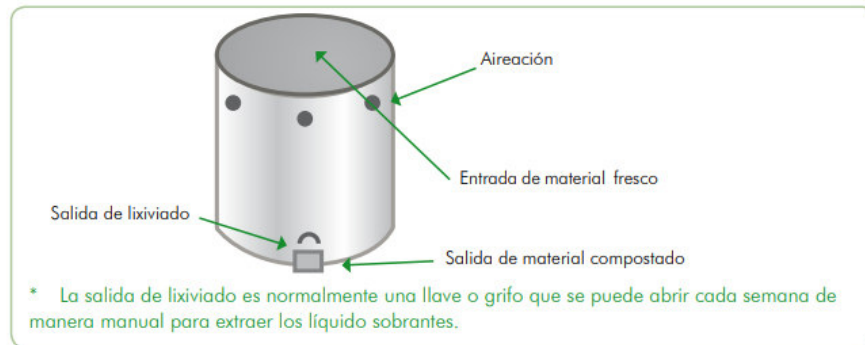
Figura 3. Compostera en pilas con ventilación pasiva

### 2.3.4.2 Sistemas Cerrados o en recipiente

Los sistemas cerrados brindan la posibilidad de mantener el control de los distintos parámetros del proceso y de las emisiones (Tortosa, 2015). Además, permiten lograr menores tiempos de residencia y el poder llevar a cabo un proceso continuo (Román

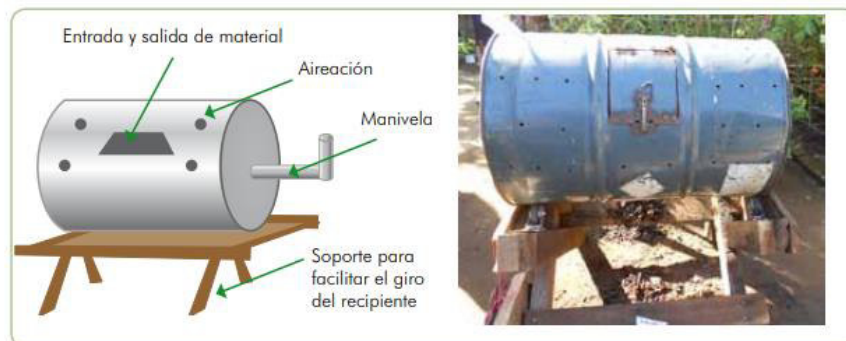
et al., s. f.). Lamentablemente los costes de inversión son elevados, requieren de mantenimiento continuo e implican la compra y uso de una compostera (Tortosa, 2015). Entre los principales se encuentran: i) Compostera vertical y ii) Compostera horizontal.

- **Compostera vertical:** Se realiza en un recipiente vertical que permite la entrada continua de RSO y la salida continua de compost (Figura 4).



**Figura 4 . Compostera vertical**

**Compostera horizontal:** En este sistema lo que se busca es usar un reactor o recipiente en donde se introduce los RSO, se dejan compostar, se extraen y luego se inserta la nueva carga (Román et al., s. f.)(Figura 5).



**Figura 5. Compostera horizontal**

## **2.4 Evaluación de impactos ambientales (EIA)**

### **2.4.1 Impacto Ambiental**

Cuando se habla de impacto ambiental se hace referencia a una alteración del medio ambiente, que es ocasionada por el accionar del ser humano (actividad económica, proyecto e ingeniería, programa, plan, una ley o una disposición administrativa ambiental) o la naturaleza (terremotos, tsunamis, erupciones, etc.) (Gutiérrez & Sánchez, 2018).

### **2.4.2 Evaluación del Impacto Ambiental**

Se crea como una herramienta de protección ambiental que permite valorar los efectos positivos y negativos generados por un proyecto o actividad realizada por el hombre (Ariadna, 2022). Uno de los objetivos principales del EIA es prevenir, mitigar y restaurar daños ambientales para reducir efectos negativos de los proyectos en la biota (SEMARNAT, 2018), ayuda además a la toma de decisiones en relación con política, planes, proyectos y programas (ISO 14001, 2015).

### **2.4.3 Metodologías de EIA**

Existen diversos métodos que permiten identificar, calificar y valorar los impactos ambientales. Martín (s.f.), sugiere analizar antes de la elección de cualquier metodología el tipo de impacto, el área afectada, la duración de los impactos, los componentes ambientales afectados, los efectos sinérgicos y valores económicos.

Es clave seleccionar adecuadamente los métodos más apropiados para las necesidades especificadas de cada estudio de impacto. Los métodos más sencillos y usados incluyen analogías, listas de verificación, opiniones de expertos, cálculos de balance de masa, matrices, etc Las principales metodologías para la identificación y valoración de impactos son:

- Listas de chequeo.
- Sistemas de interacción o redes.
- Sistemas cartográficos.
- Matrices causa-efecto.
- Métodos "Ad-hoc".

Para el presente estudio se seleccionó la metodología AD-HOC para la EIA, misma que será detallada a continuación.

#### **2.4.4 Metodología “AD-HOC”**

La metodología Ad-Hoc se usa para proyectos específicos que tienen un corto tiempo de duración (Tique, 2014). Es considerada como un método de fácil aplicación, adecuado para casos con escasez de datos (Mijangos & López, s. f.). Dentro de esta metodología se contempla tres acciones: identificación, evaluación y jerarquización de impactos. En esta matriz se califican 11 características para determinar la importancia de cada impacto. Las características calificadas son:

1. Naturaleza,
2. Intensidad,
3. Extensión,
4. Momento,
5. Persistencia,
6. Reversibilidad,
7. Sinergia,
8. Acumulación,
9. Efecto,
10. Periodicidad y
11. Recuperabilidad.

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Zona de Estudio**

##### **3.1.1 Descripción de la Empresa**

FOMM Cía. Ltda. es una empresa ecuatoriana fundada en el 2015. Sus principales actividades económicas se basan en actividades agrícolas, siendo la de más relevancia el cultivo combinado de granos y semillas oleaginosas (EMIS, 2021).

Cuentan con tres sedes en la provincia de Pichincha, sin embargo, en el presente estudio se considerará principalmente la planta industrial encargada de producción de aceite de moringa, la cual se ubica en la ciudad de Quito y la finca Magaly Marilú donde se lleva a cabo el proceso agrícola relacionado con la producción de hojas secas de Moringa, localizada en Pedro Vicente Maldonado.

FOMM Cía. Ltda. opera en la finca Magaly Marilú, que cuenta con un bosque de 2.5 hectáreas de plantación de árboles de Moringa. En este lugar desde el 2015 se puso en marcha el “Proyecto Moringa 593”, mismo que tiene el objetivo de generar diferentes productos 100% orgánicos de árboles de *Moringa oleifera lam*, *Neem*, *Sacha inchi* y *Stevia rebaudina* (Moringa 593, s.f.).

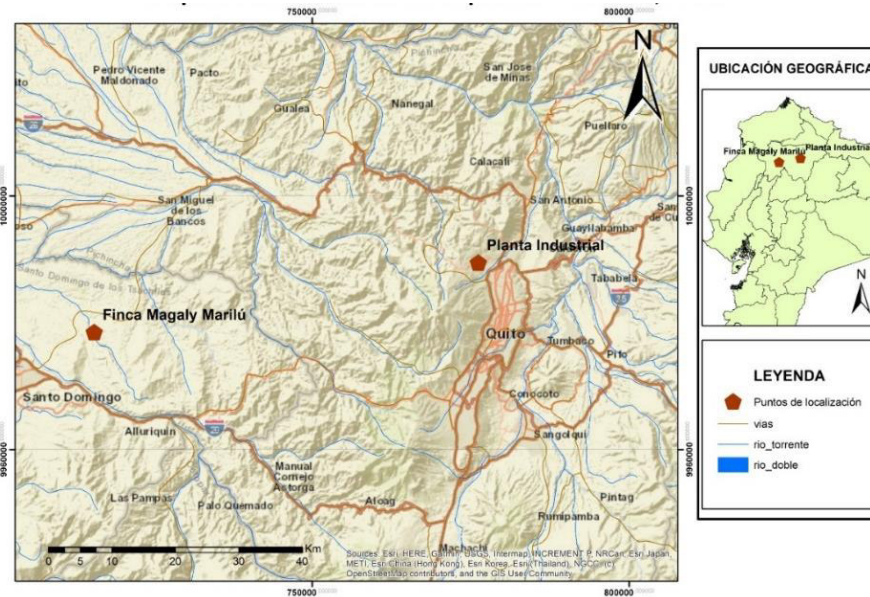
Entre los principales productos comercializados están:

- **Aceite de Moringa:** conocido por contener un alto contenido de vitaminas y ácidos grasos y oleicos, brinda grandes aportes nutricionales y de hidratación. Se obtiene mediante un proceso de prensado en frío (Araceli, 2021).
- **Hojas secas de Moringa:** son usadas principalmente para combatir enfermedades de diabetes, colesterol y triglicéridos. Antes de su consumo deben pasar un proceso de selección, cosecha, lavado, descontaminación y secado (Moringa 593, s.f.).

Al momento el Proyecto Moringa 593 tiene dos certificaciones, una otorgada por Agrocalidad como Registro de Operador Orgánico y otra otorgada por CERES como Certificado NOP, que asegura que sus productos son de origen orgánico.

### 3.1.2 Ubicación Geográfica

La Figura 6, indica la geolocalización de la Planta Industrial FOMM Cía. Ltda y la Finca Orgánica Magaly Marilú. La primera se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en la calle Abelardo Montal E-16 y Galo Plaza (Sector La Luz), en el mapa se lo visibiliza en la parte central derecha como Planta Industrial; mientras que, la Finca Orgánica Magaly Marilú está localizada en el cantón Pedro Vicente Maldonado, Km 6,5 vía al Recinto Nueva Aurora, ubicada en el mapa en la parte central izquierda.



**Figura 6.** Mapa de ubicación de la empresa FOMM Cía. Ltda.

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

### 3.2 Tipo de investigación

La investigación efectuada en este estudio es de tipo descriptiva-bibliográfica, ya que usa información cualitativa y cuantitativa de literatura existente. Además, se realizó una visita a campo en donde se recolectó información de la cantidad de RSO generados por los diversos procesos productivos, datos que son de importancia para ejecutar el diseño de las composteras aerobias. Finalmente, y en conjunto con revisión bibliografía se procede a seleccionar la mejor alternativa de compostaje para el tratamiento de RSO generados por la empresa FOMM Cía. Ltda.

### 3.3 Caracterización de RSO

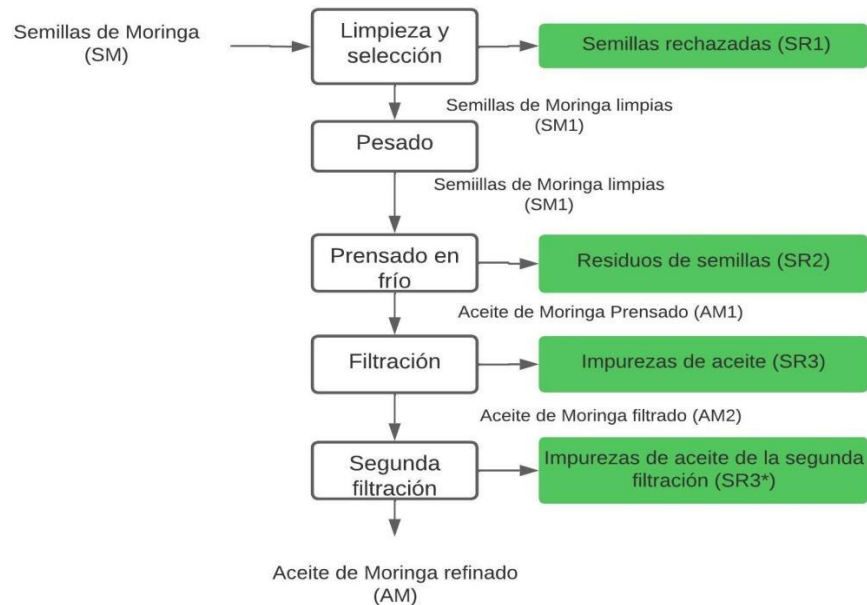
Se usó la metodología propuesta por Castillo (2012) y Romero & Vásquez (2022) quienes proponen el uso de herramientas como: Balance de masa, muestreo directo (pesaje de RSO directamente en la fuente generadora), cálculo del volumen, densidad y composición para la caracterización de los RSO

El Proyecto Moringa 593 genera diferentes cantidades de RSO en el proceso de cultivo, en la producción de aceite y hojas secas de Moringa. A continuación, se describe cada uno de ellos, tomando en cuenta la metodología mencionada anteriormente.



### 3.3.1 Balance de Masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de producción de aceite de Moringa

Para determinar los residuos generados en la producción de aceite de Moringa, se analizó el proceso productivo mediante la construcción de un diagrama de flujo ver Figura 7:



**Figura 7.** Diagrama de flujo del proceso de producción de aceite de Moringa

Para encontrar la generación mensual de los RSO, se obtuvo información del estudio de Jirón (2022), quien detalla que se producen 72.61% de RSO correspondientes a 0.22% de semillas retiradas (rechazadas) generadas en la etapa de limpieza y selección, 62.16% de residuos de semilla producidos en la fase de prensado en frío, 9.92% y 0.32% de residuos provenientes de impurezas del aceite generados en la etapa de primero y segunda filtración. Además, se tomó como referencia 500kg de materia prima inicial (semillas de Moringa) usadas anualmente.

Con estos valores se procedió a realizar el cálculo de la tasa de generación mensual. En donde se usó la Ecuación 4,5,6 y 7.

$$SR1 = \frac{SM * 0.22\%}{100\%} \quad (4)$$

Donde: SR1: Semillas rechazadas (kg/mes)

SM: Semillas de Moringa (kg/mes)

$$SR2 = \frac{SM * 62.16\%}{100\%} \quad (5)$$

Donde: SR2: Residuos de semillas (kg/mes)  
SM: Semillas de Moringa (kg/mes)

$$SR3 = \frac{SM * 9.92\%}{100\%} \quad (6)$$

Donde: SR3: Impurezas del aceite (kg/mes)  
SM: Semillas de Moringa (kg/mes)

$$SR3^* = \frac{SM * 0.3\%}{100\%} \quad (7)$$

Donde: SR3\*: Impurezas del aceite provenientes de la segunda filtración (kg/mes)  
SM: Semillas de Moringa (kg/mes)

### 3.3.2 Balance de masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de producción de hojas secas de Moringa

Para conocer los RSO generados en la producción de las hojas secas de moringa, fue necesario conocer el proceso productivo. Para esto se realizó un diagrama de flujo, tal y como se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Diagrama de flujo de la producción de hojas secas de Moringa

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

Para realizar los cálculos del balance de masa y obtener la tasa de generación de RSO, se aplicaron dos métodos, muestreo directo y recopilación de datos mediante investigación, para lo cual la empresa FOMM facilitó una bitácora de campo, que contaba con información semanal de la producción de las hojas secas de Moringa. Estos datos serán presentados a continuación en la Tabla 4:

**Tabla 4.** Datos semanales de materia prima, hojas frescas y hojas aceptadas en la producción de hojas secas de Moringa.

	<b>Ramas de Moringa (MP)</b>	<b>Hojas frescas (HF)</b>	<b>Hojas aceptadas (HA)</b>
<b>Semana</b>	<b>kg</b>		
<b>1</b>	30.9	25.8	25.2
<b>2</b>	6.8	5.9	2.0
<b>3</b>	4.1	3.2	1.3
<b>4</b>	4.5	3.6	1.3
<b>5</b>	11.4	6.4	2.0
<b>6</b>	3.0	2.3	1.0
<b>7</b>	91.4	65.0	16.0
<b>8</b>	14.5	12.0	2.5
<b>9</b>	80.9	70.9	65.8
<b>10</b>	17.2	14.3	5.4
<b>11</b>	3.5	3.0	1.6
<b>12</b>	60.0	12.7	11.0
<b>13</b>	2.7	2.3	0.5
<b>14</b>	64.6	59.6	4.1
<b>15</b>	69.5	62.3	4.1
<b>Promedio semanal</b>	<b>31</b>	<b>23.3</b>	<b>22.13</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>124.0</b>	<b>93.1</b>	<b>88.52</b>

Fuente: FOMM (2020)

A continuación, se describen las ecuaciones usadas 8 y 9, para la obtención de los RSO generados en este proceso.

$$HR_1 = RM - HF \quad (8)$$

Donde:  $HR_1$ : Residuos provenientes de ramas y tallos (kg/mes)

RM: Ramas de Moringa (kg/mes)

HF: Hojas frescas (kg/mes)

$$HR_2 = HF - HA \quad (9)$$

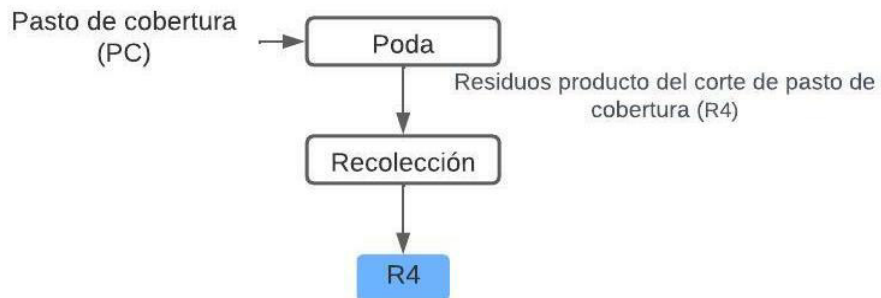
Donde:  $HR_2$ : Residuos provenientes de hojas rechazadas (kg/mes)

HF: Hojas frescas (kg/mes)

HA: Hojas aceptadas (kg/mes)

### 3.3.3 Balance de Masa aplicado a la generación de RSO en el proceso de cultivo

La poda es una actividad que se realiza comúnmente en el proceso de cultivo, y que genera gran cantidad de residuos. La Figura 9 muestra el diagrama de flujo del proceso de cultivo.



**Figura 9.** Diagrama de flujo del proceso de cultivo de moringa

En esta actividad, se tiene que todo lo que entra es igual a lo que sale (Ecuación 10). Debido a que desde un inicio el pasto de cobertura es considerado como un residuo, ya que no forman parte de los procesos productivos de la empresa.

$$PC = R_4 \quad (10)$$

Donde: PC: Pasto de cobertura (kg/mes)

$R_4$ : Residuos producto del corte de pasto de cobertura (kg/mes)

### 3.3.4 Tasa de Generación Total de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo

Para calcular la tasa de generación total de RSO se procedió a sumar las tasas de generación de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo. Se usó la Ecuación 11:

$$X_{RSO} = SR1 + SR2 + SR3 + SR3^* + HR1 + HR2 + R4 \quad (11)$$

Donde  $X_{RSO}$ : Tasa de generación de RSO (kg/mes)

### 3.3.5 Determinación de la cantidad de RSO generados en el proceso de cultivo

Para definir la cantidad de RSO que se producen en esta etapa, se tomó un área de terreno al azar y con machetes se procedió a retirar 1m<sup>2</sup> de cobertura vegetal, para asemejar la cantidad de RSO generados tras la poda del terreno, simultáneamente en una bolsa plástica color negro se fueron recolectando los residuos, tal y como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Poda de pasto de cobertura

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

Posterior a eso se realizó un pesaje de los residuos obtenidos con una balanza manual, tal y como se observa en la Figura 11. La Tabla 5, contiene la cantidad de residuos generados en 1m<sup>2</sup> con la poda del césped.



**Figura 11.** Pesaje de pasto de cobertura podado

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

**Tabla 5.** RSO generados en el proceso cultivo

Etapa	Residuo generado	Código	Cantidad (Kg/m <sup>2</sup> )
Poda	Pasto de cobertura	R <sub>4MD</sub>	1.1

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

Como se mencionó en la Tabla 5, en 1m<sup>2</sup> de terreno se producen 1.1 kg de residuos de pasto de cobertura. La Ecuación 12 permite conocer la cantidad de RSO producidos en 2.5 ha de terreno.

$$R_{4X} = R_{4MD} * 25000 m^2 \quad (12)$$

Donde R<sub>4X</sub>: Cantidad de RSO provenientes del pasto de cobertura (kg)

R<sub>4MD</sub>: Pasto de cobertura pesado en campo (kg/m<sup>2</sup>)

### 3.4 Determinación del Volumen y Densidad de los RSO en la producción de hojas secas y el proceso de cultivo de moringa.

Para la determinación del volumen y la densidad de los residuos sólidos orgánicos, resulta indispensable la obtención de la cantidad generada en las respectivas actividades. El muestro directo de RSO, es una técnica realizada en campo que consiste en pesar la cantidad de RSO producidos en el lugar de estudio, determinar el volumen que ocupan y con ello calcular la densidad de los RSO.

En una visita a campo se cuantificó la cantidad de RSO. Primero se seleccionó un árbol de moringa aleatoriamente, se procedió a cortar las ramas y tallos, mismos que fueron colocados en baldes para pesarlos (Figura 12). De los tallos y ramas seleccionados, se recogió las hojas de moringa y se clasificó la materia prima (RM), de los residuos (HR1).



**Figura 12.** Pesaje de RSO generados en la producción de hojas secas de Moringa

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

Teniendo ya RM se procede a hacer otro tipo de selección, en donde se separa hojas frescas (HF) de las hojas que están muy maduras o dañadas y se van a rechazar (HR2) (Figura 13), y se pesa cada una. Con esta diferenciación, la Tabla 6, muestra las cantidades de RSO generados en la etapa de clasificación y selección.



**Figura 13.** Separación de hojas frescas y hojas maduras o secas

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

**Tabla 6.**RSO generados en el proceso de producción de hojas secas de Moringa

<b>Etapas</b>	<b>Residuo generado</b>	<b>Código</b>	<b>Cantidad (Kg)</b>
Separación	Tallos y ramas	HR <sub>1MD</sub>	0.74
Clasificación	Hojas rechazadas	HR <sub>2MD</sub>	0.67

En campo una vez definidos los pesos de los RSO, se procedió a determinar el volumen de cada residuo para lograr encontrar la densidad de cada uno. Para este propósito se usó un balde con las características de tronco de cono, en donde se colocó los RSO y se midió altura de residuos alcanzada en el balde y radio de la base inferior y superior (Figura 14).





**Figura 14.** Medición de las dimensiones del balde usado en el pesaje de RSO

El volumen se determinó con la fórmula presentada en la Ecuación 13:

$$V = \frac{h \cdot \pi}{3} (R^2 + r^2 + R \cdot r) \text{ m}^3 \quad (13)$$

Donde: R: Radio superior (m)

r: es el radio de la base (m)

h: es la altura que alcanzan los residuos en el recipiente (m)

Es importante tener en cuenta que la base de menor tamaño es la base inferior que se mantuvo constante en el cálculo con un valor de 0,086 m. La Tabla 7, muestra los valores de radio y altura tomados en campo.

**Tabla 7.** Dimensiones del balde y altura de residuos

Código de residuo	Altura alcanzada de los residuos en el balde	Radio de la base	Radio superior	Altura total del balde
	(m)	(m)	(m)	(m)
	h	r	r	H
HR1	0.08	0.086	0.116	0.238
HR2	0.045		0.097	
R4	0.238		0.176	

**Fuente:** (Buenaño, 2022)

Teniendo ya los valores de volumen se procedió a calcular la densidad de los RSO con la Ecuación 14:

$$\rho = \frac{MD}{V} \quad (14)$$

Donde:  $\rho$ : Densidad de los RSO ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

MD: Cantidad de RSO pesados en campo (kg)

V: Volumen de los RSO ( $\text{m}^3$ )

### **3.5 Evaluación de Impacto Ambiental**

Para la Evaluación de Impactos Ambientales, se hizo uso de la matriz AD-HOC. Que califica los impactos ambientales siguiendo un juicio de expertos. Entre los principales impactos ambientales que se calificaron tenemos (Tabla 8):

**Tabla 8.** Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales por el método AD-HOC

Fase	Actividades Cultivo	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Factores Socioambientales
Preparación	Preparación de la Tierra	Movimiento de suelos	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por remoción de cobertura Vegetal, generando presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica removida (metano, dióxido de carbono, otros).	Paisaje
	Siembra	Limpieza del terreno	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por remoción de maleza, generando presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Emisión de gases producto de la descomposición de la maleza removida (metano, dióxido de carbono, otros).	Paisaje
Operación	Mantenimiento Post Siembra	Poda de pasto de cobertura.	Incremento de residuos sólidos orgánicos producto de la poda de plantación y cobertura vegetal presente que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Incremento de insectos y roedores.	Paisaje
			Emisión de gases producto de la descomposición del pasto de cobertura cortado (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire
		Aplicación de inóculo bacteriano	Incremento de tamaño de mala hierba, pasto de cobertura que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Incremento de nutrientes en el suelo	Suelo
		Uso de especie Moringa	Reducción de procesos erosivos y Restauración de la calidad fisicoquímica del suelo	Suelo
		Uso de Fumigadores Orgánicos para el control de plagas	Suprime (pero no elimina) el porcentaje de plaga	Suelo
		Uso de fertilizantes y acondicionadores	Mejoras a la calidad del suelo mediante el incremento de nutrientes	Suelo
		Uso de aceite de cadena y motor para el mantenimiento de los	Incremento de residuos peligrosos provenientes de estos productos que generan presión sobre el sistema de gestión actual	Suelo

	equipos y maquinarias		
Cosecha	Recolección de Hojas, Semillas y Tallos	Incremento de RSO de los tallos y hojas de moringa que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Paisaje
		Emisión de gases producto de la descomposición de los tallos y hojas de moringa (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire
Producción de Aceite de Moringa	Limpieza y selección de semillas para la producción de aceite	Incremento de RSO de las semillas retiradas, cáscaras de semilla, tallos y hojas de moringa que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Paisaje
		Emisión de gases producto de la descomposición de las semillas retiradas, cáscaras de semilla, tallos y hojas de moringa (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire
	Prensado en frío	Incremento de RSO de los residuos de las semillas de moringa que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Paisaje
		Emisión de gases producto de la descomposición de los residuos de las semillas de moringa (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire
	Filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite) que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Paisaje
		Emisión de gases producto de la descomposición de las impurezas sólidas del aceite (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire
	Segunda filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite) que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
		Paisaje	
	Emisión de gases producto de la descomposición de las impurezas sólidas del aceite (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	
Secado de Hojas de Moringa.	Clasificación	Incremento de RSO de los tallos, ramas, y hojas de moringa que generan presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo
			Paisaje
		Emisión de gases producto de la descomposición de los tallos y de moringa (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire

	Selección	Incremento de RSO, por rechazo de hojas que no pasan el proceso de selección moringa, generando presión sobre la gestión actual de residuos sólidos.	Suelo	
			Paisaje	
		Emisión de gases producto de la descomposición de hojas rechazadas (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	
	Proceso de Compostaje de RSO	Generación de compost	Disminución de RSO provenientes del cultivo y producción de aceite y hojas secas de moringa y residuos producto de la compra de fertilizantes orgánicos.	Suelo
			Disminución de malos Olores	Aire
			Prevención de vectores	Suelo
			Incremento de la fertilidad del suelo	Suelo
			Reducción del uso de fertilizantes y acondicionadores orgánicos para el proceso de cultivo de moringa.	Suelo
		Incremento de la rentabilidad del proceso de cultivo	Socioeconómico	
		Recolección de lixiviados	Prevención de afección de cuerpos hídricos, en especial calidad de aguas subterráneas	Agua
Prevención de la disminución de pH en el suelo en condiciones anaerobias, generando acidez.	Suelo			

Para el análisis y calificación de los factores ambientales se calificó 11 características del impacto para lograr determinar su importancia. En la Tabla 9, se muestran las características evaluadas y su rango de calificación.

**Tabla 9.** Valoración de las características de los IA

Características	Escala de valoración				
Naturaleza (NA)	Positivo (+1)			Negativo (-1)	
Intensidad (In)	Baja (1)	Media (2)	Alta (4)	Muy alta (8)	Total (10)
Extensión (EX)	Puntual (1)	Parcial (2)	Extenso (4)	Total (8)	Crítico (10)
Momento (MO)	Largo Plazo (1)	Mediano Plazo (2)	Inmediato (4)	Crítico (8)	
Persistencia (PE)	Fugaz (1)	Temporal (2)	Permanente (4)		
Reversibilidad (RE)	Corto Plazo (1)	Mediano Plazo (2)	Largo Plazo (4)	Irreversible (8)	
Sinergia (SI)	Sin Sinergia (1)	Sinérgico (2)	Muy Sinérgico (4)		
Acumulación (AC)	Simple (1)	Acumulativo (4)			
Efecto (EF)	Indirecto (1)	Directo (4)			
Periodicidad (PR)	Discontinuo (1)	Periódico (2)	Continuo (4)		
Recuperabilidad (MC)	Inmediata (1)	Recuperable (2)	Mitigable (4)	Irrecuperable (8)	

**Fuente:** (Aleman, 2014)

Una vez finalizada la etapa de calificación de la matriz Ad Hoc se procedió a encontrar el Nivel de Afectación Global (NAG) de cada impacto, mismo que fue determinado con la Ecuación 15:

$$NAG_{Fis-Bio} = NA \times (3IN + 2EX + MO + PE + RE + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (15)$$

Donde: NA: Naturaleza, IN: Intensidad, EX: Extensión, MO: Momento, PE: Persistencia, RV: Reversibilidad, SI: Sinergia, AC: Acumulación, EF: Efecto, PR: Periodicidad, MC: Recuperabilidad.

Una vez identificado el NAG se realizó una reclasificación de los IA de acuerdo con su significancia, para lo cual se consideró la Tabla 10:

**Tabla 10.** Reclasificación de los Impactos Ambientales de acuerdo con su significación

Rango		Símbolo	Significación
Físico & Biótico	Social		
81 a 98	81 a 96	<b>+MS</b>	Positivo Muy Significativo
61 a 80	61 a 80	<b>+S</b>	Positivo Significativo
41 a 60	41 a 60	<b>+MEDS</b>	Positivo Medianamente Significativo
21 a 40	21 a 40	<b>+PS</b>	Positivo Poco Significativo
14 a 20	12 a 20	<b>+NS</b>	Positivo No Significativo
(-)14 a 20	(-)12 a 20	<b>-NS</b>	Negativo No Significativo
(-)21 a 40	(-)21 a 40	<b>-PS</b>	Negativo Poco Significativo
(-)41 a 60	(-)41 a 60	<b>-MEDS</b>	Negativo Medianamente Significativo
(-)61 a 80	(-)61 a 80	<b>-S</b>	Negativo Significativo
(-)81 a 98	(-)81 a 96	<b>-MS</b>	Negativo Muy Significativo

Fuente: (Aleman, 2014)

Finalmente se estableció una jerarquía de impactos ambientales siguiendo las indicaciones de la Tabla 11, que consiste en reclasificar los valores del Nivel de Afectación Global (NAG) mediante el uso de un diagrama óptimo de Pareto.

**Tabla 11.** Diagrama óptimo de Pareto

Impactos negativos	Crítico (-81 a -100)	Requiere del establecimiento de programas específicos dentro del Plan de Manejo o, en el peor de los casos, una reubicación o rediseño de componentes del proyecto.	Prioridad ALTA
	Severo (-51 a -80)	Requiere el establecimiento de medidas de mitigación específicas a incorporar, ya sea a manera de especificaciones del diseño constructivo o procedimientos operativos.	Prioridad MEDIA
	Moderado	Únicamente se requieren medidas de mitigación	Prioridad

	(-36 a -50)	básicas; por lo general la normativa ambiental contempla medidas que mitigan estos impactos.	BAJA
	Irrelevante (0 a -35)	No requiere medidas de mitigación, ya que estos impactos son inmediatamente recuperables o, en su defecto, las practicas comunes de la industria ya contemplan medidas de mitigación.	Prioridad NULA
Impactos positivos	Imperceptible (0 a 35)	El impacto es imperceptible y, por ende, no verificable ni monitoreable. No requiere acciones.	Prioridad NULA
	Neutral (36 a 50)	El nivel de presión que ejerce este impacto en favorecer a componentes físicos, bióticos o sociales no tiene la capacidad de modificar la dinámica natural de estos. No requiere acciones.	Prioridad NULA
	Favorable (51 a 80)	Es factible considerar la ejecución de acciones que ayuden a maximizar el efecto benéfico de este impacto. Se puede incluir acciones a desarrollar en los programas de gestión del proponente del proyecto.	Prioridad MEDIA
	Muy favorable (81 a 100)	Es necesaria la ejecución de acciones que maximicen el efecto benéfico de este impacto. Se deben incluir acciones a desarrollar en los programas de gestión del proponente del proyecto.	Prioridad ALTA

Fuente: (Alemán, 2014)

### 3.6 Alternativas de compostaje aerobio a través de Parámetros Técnicos y Económicos.

Como primer paso se procedió a realizar el diseño, que implica calcular datos que son de interés para la elección de la mejor alternativa de compostaje. Esta información ayuda al análisis cualitativo y cuantitativo que facilita la toma de decisiones.

#### 3.6.1 Diseño de Composteras

Se diseñó cinco distintos tipos de composteras cuatro de sistemas abiertos y una de sistema cerrado. Entre las composteras de sistema abierto diseñadas se encuentran: pilas móviles rectangulares, triangulares, trapezoidales y pilas estáticas con ventilación pasiva. Y para el sistema cerrado se diseñó las composteras horizontales.



### 3.6.1.1 Compostera en Pilas Móviles

#### 3.6.1.1.1 Pila móvil rectangular, triangular y trapezoidal

Para el diseño de la compostera en pilas móviles se usó el método y las ecuaciones propuestas por Ávila (2018). Aquí sugiere el diseño de pilas móviles para dos áreas: de descomposición y de maduración.

##### 3.6.1.1.1.1 Área de descomposición

El área de descomposición busca la degradación de los RSO por la intervención de microorganismos, aquí se realizan actividades de mezcla, riego y control de los parámetros del proceso de compostaje.

Para el diseño de esta área es necesario conocer la cantidad de RSO generados (kg/día), la densidad (kg/m<sup>3</sup>), el tiempo requerido (días) y la forma geométrica de la pila.

Con estos datos se procedió a calcular el volumen parcial de la planta (VP) con la siguiente ecuación (Ecuación 16):

$$VP = \frac{X_{RSO} * T_{des}}{\rho_{RSO}} \quad (16)$$

Donde:  $X_{RSO}$ : Tasa de generación de RSO (kg/día)

$T_{des}$ : Tiempo de descomposición (días)

$\rho_{RSO}$ : Densidad de los RSO (kg/m<sup>3</sup>)

Posterior a esto se calculó el área transversal de las pilas para ello se usó las siguientes ecuaciones según su forma geométrica, (Ecuación 17) pilas trapezoidales, (Ecuación 18) pilas triangulares y (Ecuación 19) pilas rectangulares.

$$A_{TT} = \frac{Bp * bp}{2 * hp} \quad (17)$$

$$A_{TT} = \frac{Bp * hp}{2} \quad (18)$$

$$A_{TT} = Bp * hp \quad (19)$$

Donde:  $A_{TT}$ : Área transversal de la pila (m<sup>2</sup>)

$Bp$ : Base de la pila (m)

$bp$ : Base superior de la pila (m) (Caso trapezoidal)

hp: altura de la pila (m)

RAS (2000) y Ávila (2018) recomiendan trabajar con:  $1.5\text{m} < B_p < 3\text{m}$ , y  $1\text{m} < h_p < 2\text{m}$

Seguidamente se continúa con el cálculo del volumen de cada pila (Ecuación 20), dato útil que sirvió para conocer el número de pilas (Ecuación 21) necesarias en esta etapa.

$$V_{pila} = A_{TT} * LP \quad (20)$$

Donde:  $V_{pila}$ : Volumen de la pila (m<sup>3</sup>)

AT: Área transversal (m<sup>2</sup>)

Lp: Longitud de la pila (m)

$$\#pilas = \frac{VP}{V_{pila}} \quad (21)$$

Conociendo el número de pilas se calculó el área que usa cada pila (Ecuación 22)

$$A_{pila} = LP * B_p \quad (22)$$

Donde:  $A_{pila}$ : Área de la pila (m<sup>2</sup>)

Teniendo el área que usa cada pila se procede a calcular con la Ecuación 23, el área requerida para todas las pilas de descomposición:

$$A_{CT} = A_{pila} * \#pilas \quad (23)$$

Es importante siempre entre cada pila dejar una separación, para que el personal logre desplazarse para realizar los volteos. Ávila (2018) recomienda dejar una separación entre pilas de mínimo 1.5m. Considerando este punto se calculó el área de espaciamiento con la Ecuación 24:

$$A_E = Sh * \#pilas * LP \quad (24)$$

Donde:  $A_E$ : Área de espaciamiento (m<sup>2</sup>)

Sh: Separación entre pilas (m)

Finalmente se calcula el área total de descomposición (Ecuación 25):

$$A_{fdes} = A_E + A_{CT} \quad (25)$$

### 3.6.1.1.1.2 Área de maduración

La zona de maduración es un área amplia, en donde se colocan los residuos provenientes de área de descomposición, en esta se produce la maduración del compost, se la conoce como área de la fase final. (Ávila, 2018)

RAS (2000), indica que en esta etapa se ha producido una pérdida del volumen de los residuos por la generación de lixiviados en la etapa de descomposición. Razón por la cual se necesitará de menos pilas.

Con esta consideración se procedió al diseño de las pilas. Inicialmente se calculó la longitud total de la pila de maduración con la Ecuación 26.

$$lm = \frac{V_{pila} * \frac{1}{2}}{A_{TT}} \quad (26)$$

A continuación, se obtuvo el número de pilas de maduración (Ecuación 27).

$$\#pilas_m = \frac{lm}{LP} \quad (27)$$

Tras determinar el número de pilas, con la Ecuación 28, se procedió a calcular el área necesaria para que se lleve a cabo el proceso de maduración, teniendo en cuenta las dimensiones (Bp y LP) usadas en la etapa de descomposición.

$$A_m = \#pilas_m * Bp * LP \quad (28)$$

A continuación, se obtuvo el valor del área total de maduración (Ecuación 29), que es la suma del área de maduración (AM) más el área de espaciamiento (AEM) (Ecuación 30).

$$A_{TM} = A_M + A_{EM} \quad (29)$$

$$A_{EM} = Sh * LP * \#pilas_m \quad (30)$$

Como paso final para la recolección de lixiviados se consideró una pendiente del 2% o 3% que permita el flujo continuo y la recolección de estos fluidos.

Para la recolección de lixiviados se calculó el volumen de lixiviados procedentes de las etapas de descomposición y maduración (Ecuación 31):

$$V_{lix} = \frac{X_{RSO}}{7} * 0.05 * 1.5 * (T_{des} + T_{mad}) \quad (31)$$

Donde: Vlix: Volumen de lixiviados (m3)

$X_{\text{RSO}}$ : Tasa de generación de RSO (Ton/día)

0.05: Cantidad de lixiviado generado por Tonelada (5%)

1.5: Factor de seguridad

$T_{\text{des}}$ : Tiempo de descomposición

$T_{\text{mad}}$ : Tiempo de maduración

Teniendo el volumen de lixiviados se procedió a buscar un tanque comercial para albergar los lixiviados generados en el proceso de compostaje. Se seleccionó un tanque comercial de plástico azul de 200 litros (Figura 15).



**Figura 15:** Tanque comercial azul capacidad 200 l

### **3.6.1.2 Pilas estáticas con ventilación pasiva**

Para el diseño de las pilas estáticas se usó las ecuaciones descritas anteriormente, en este proceso de compostaje lo que cambia es el tipo de aireación, es decir cambia el volteo manual por la incorporación de tuberías perforadas que favorecen la oxigenación en las pilas de compost.

#### **3.6.1.2.1 Sistemas de tuberías**

Para el diseño del sistema de tuberías que permitan la aireación pasiva se usó la metodología propuesta por Pérez (2008) y Chaparro (2013), quienes proponen el uso de tuberías de PVC perforadas que permitan el ingreso de aire (viento) y faciliten la aireación en las pilas de compostaje.

Mencionan, que en cada pila de compostaje se debe emplear un aproximado de 3 tubos PVC de 100 mm (4 plg) de manera horizontal, colocados en los extremos y centro de las hileras. Y de manera vertical se debe colocar tubería cada 1 m. Cada tubo debe contar con perforaciones (huecos) que permitan la entrada de oxígeno desde el exterior hasta el

interior de las pilas. El sistema de tuberías debe estar unido con conectores de cuatro vías de PVC.

### 3.6.1.3 Composteras horizontales

Las composteras horizontales siguen un proceso discontinuo, donde no se puede introducir material orgánico hasta que no finalice la producción de compost. (Quevedo, 2019). Para este diseño la FAO (2013), recomienda el uso de tanques color azul con capacidad de 200 l, altura 0.9 m y diámetro 0.6 m (Figura 15) que sirvan como recipientes para el proceso de compostaje de los RSO.

Tomando en cuenta esta consideración, se obtuvo el volumen de los RSO ( $V_{RSO}$ ) con la ecuación 33.

$$V_{RSO} = \frac{x_{RSO}}{\rho_{RSO}} \quad (33)$$

Donde:  $V_{RSO}$ : Volumen de lo RSO (l/mes)

A continuación, se calculó el número de tanques necesarios para tratar los RSO con la ecuación 34:

$$\#tanques = \frac{V_{RSO}}{V_{Tanque}} \quad (34)$$

Donde: #tanques: Numero de tanques

$V_{RSO}$ : Volumen de lo RSO (l/mes)

$V_{Tanque}$ : Volumen del tanque comercial 200 l

Continuando con el diseño, se procedió a calcular el área que ocupa cada tanque para conocer el espacio en donde se van a alojar estos recipientes (Ecuación 35).

$$A_{Tanque} = h_{Tanque} * d_{Tanque} \quad (35)$$

El cálculo del área del tanque sirvió para determinar el área ocupada por todos los tanques, misma que fue calculada con la Ecuación 36.

$$A_{TT} = A_{Tanque} * \#tanques \quad (36)$$

Donde:  $A_{TT}$ : Área total usada por los tanques

Para que el personal pueda moverse y controlar parámetros dentro de las composteras es prudente dejar un área de espaciamiento entre bidones, misma que fue calculada con la Ecuación 37:

$$A_{EH} = h_{Tanque} * St * \#tanques \quad (37)$$

Donde:  $A_{EH}$ = Área de espaciamiento en composteras horizontales

$St$ = Separación entre tanques (1 m)

Finalmente, se sumó el área total ocupada por los tanques y el área de espaciamiento y se obtuvo el área necesaria para el uso de composteras horizontales (Ecuación 38).

$$A_{FCH} = A_{EH} + A_{TT} \quad (38)$$

Donde:  $A_{FCH}$ : Área final ocupada por las composteras horizontales

### 3.6.2 Elección de la mejor alternativa de compostaje aerobio

Para el análisis de las alternativas de compostaje aerobio, se estableció como primera etapa la fase de gabinete, que consistió en recolectar información de carácter técnico/diseño y económico, de cuatro diferentes sistemas de compostaje aerobio. Los sistemas estudiados fueron: pilas móviles trapezoidales, triangulares y rectangulares, pilas estáticas rectangulares con ventilación pasiva y composteras horizontales.

En una tabla comparativa se evaluó parámetros técnicos, valorados cuantitativa y cualitativamente y parámetros económicos.

Los parámetros técnicos cualitativos fueron calificados en una escala del 1 al 5, como se detalla en la Tabla 12 y 13:

**Tabla 12.** Parámetros técnicos

Parámetros	unidades
Velocidad del proceso	A
Generación de olores	B
Tecnología	C
Control de aireación	D

Frecuencia de volteos	E
Sensibilidad al clima	F
Tiempo de duración	G
Calidad del compost	H

**Tabla 13.** Calificaciones asignadas

Calificaciones asignadas	A	B-D-E-F	C	G	H
1	lento	alta	muy sofisticada	lento	deficiente
2	poco lento	mediana	sofisticada	poco lento	regular
3	normal	moderada	normal	normal	bueno
4	rápido	baja	sencilla	rápido	muy bueno
5	muy rápido	muy baja	muy sencilla	muy rápido	excelente

Posterior a la calificación de los parámetros técnicos cualitativos, se realizó una sumatoria de las valoraciones y se obtuvo el porcentaje de favorabilidad de cada método de compostaje evaluado. Ver Tabla 14.

**Tabla 14.** Intervalos de favorabilidad para la elección del método de compostaje

Intervalo	Clasificación
0%-25%	Método no favorable
25%-50%	Método medianamente favorable
50%-75%	Método favorable
75%-100%	Método muy favorable

Esta clasificación permitió seleccionar la mejor alternativa de compostaje teniendo en cuenta solo parámetros técnicos cualitativos.

Por otro lado, se evaluó también parámetros técnicos cuantitativos y parámetros económicos como se observa en la Tabla 15 y 16:

**Tabla 15.** Parámetros técnicos cuantitativos

Parámetros	unidades
Área ocupada	m <sup>2</sup>
#pilas necesarias	u
# tanques necesarios	u
# tubería necesaria	u

**Tabla 16.** Análisis de costos unitarios

Parámetros	unidades
<b>Costos de inversión</b>	
Construcción	\$
Materiales	\$

En cuanto a parámetros técnicos cuantitativos y parámetros económicos, lo que se buscó es el sistema de compostaje que menor cantidad, espacio, recursos y costos genere. Ya que esto reduce el costo por tratamiento de RSO.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de los RSO

#### 4.1.1 Cálculo de la tasa de generación mensual de RSO en el proceso de producción de Aceite de Moringa

Entre los principales residuos generados en la producción de aceite se tiene: semillas rechazadas (SR1), residuos de semillas (SR2), impurezas del aceite (SR3) e impurezas del aceite de la segunda filtración (SR3\*).

Aplicando la ecuación 4,5,6 y 7 se obtiene:

$$SR1 = \frac{500 \text{ kg/año} * 0.22\%}{100\%} = 1.1 \text{ kg/año}$$



$$SR2 = \frac{500 \text{ kg/año} * 62.16\%}{100\%} = 310.8 \text{ kg/año}$$

$$SR3 = \frac{500 \text{ kg/año} * 9.92\%}{100\%} = 49.68 \text{ kg/año}$$

$$SR3^* = \frac{500 \text{ kg/año} * 0.32\%}{100\%} = 1.56 \text{ kg/año}$$

Para el diseño de las composteras se necesita información mensual por lo que se procede a dividir para 12 cada uno de los residuos estudiados.

$$SR1 = \frac{1.1 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 0.09 \text{ kg/mes}$$

$$SR2 = \frac{310.8 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 25.90 \text{ kg/mes}$$

$$SR3 = \frac{49.6 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 4.14 \text{ kg/mes}$$

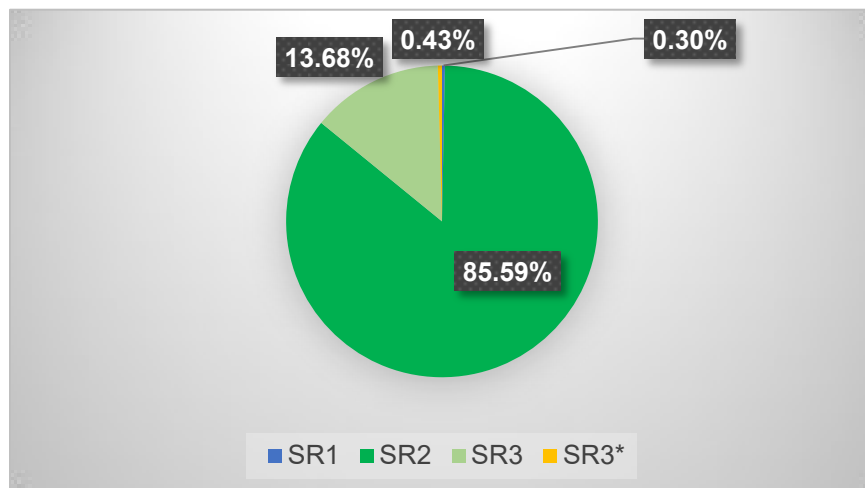
$$SR3^* = \frac{1.56 \text{ kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 0.13 \text{ kg/mes}$$

La Tabla 17, muestra la tasa de generación de RSO generados en la elaboración de aceite de Moringa. Se obtuvo para SR1 una producción mensual de 0.09 kg/mes, para SR2 de 25.90 kg/mes, para SR3 de 4.14 kg/mes y finalmente para SR3\* de 0.13 kg/mes. Con un total de generación mensual de 30.26 kg/mes. Estos valores señalan que la etapa de prensado en frío con el residuo SR2 es la que genera mayor cantidad de residuos.

**Tabla 17.** Tasa de generación mensual de RSO en la producción de aceite de Moringa.

Cod.	Nombre del residuo	Tasa de generación
		kg/mes
SR1	Semillas rechazadas	0.09
SR2	Residuos de semillas	25.90
SR3	Impurezas del aceite	4.14
SR3*	Impurezas del aceite de la segunda filtración	0.13
<b>Total, de residuos generados al mes</b>		<b>30.26</b>

La Figura 16, indica que SR2 es el residuo que se produce en mayores cantidades con un 85.59%, seguido por SR3 con un 13.68% , SR3\* con un 0.43% y finalmente SR1 con un porcentaje de 0.30%.



**Figura 16.** Composición de los RSO provenientes de la producción de aceite

#### 4.1.2 Cálculo de la tasa de generación mensual de RSO en el proceso de producción de Hojas Secas de Moringa

Para el caso de la producción de hojas secas de Moringa, se calculó la tasa de generación de RSO con la ecuación 8 y 9. Se obtuvo una producción mensual de 30.84 kg/mes y 4.64 kg/mes correspondientes a HR1 y HR2. En este caso la etapa con mayor producción de residuos es la perteneciente a la de “Separación”. La producción total de RSO en este proceso es de 35.48 kg/mes. Ver Tabla 18 .

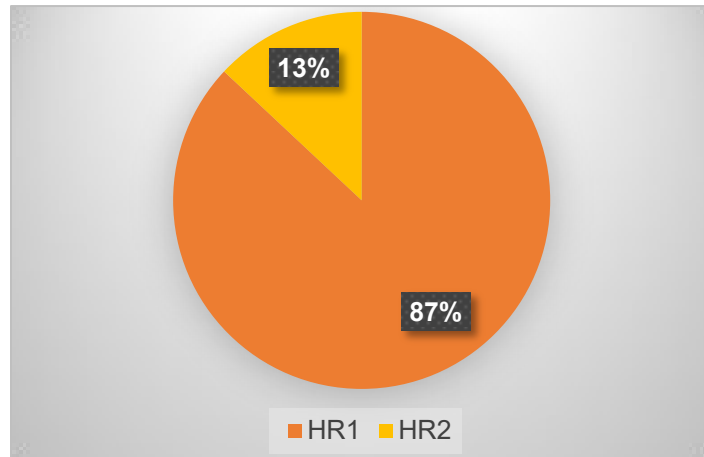
$$HR1 = 124 \frac{kg}{mes} - 93.16 \frac{kg}{mes} = 30.84 \text{ kg/mes}$$

$$HR2 = 93.16 \frac{kg}{mes} - 88.52 \frac{kg}{mes} = 4.64 \text{ kg/mes}$$

**Tabla 18.** Tasa de generación mensual de la producción de hojas secas de Moringa

Cod.	Nombre del residuo	Tasa de generación
		kg/mes
HR1	Tallos y ramas	30.84
HR2	Hojas frescas de Moringa rechazadas	4.64
<b>Total, de residuos generados al mes</b>		<b>35.48</b>

La Figura 17, señala que HR2 es el RSO que mayor cantidad produce, ya que ocupa un 87% del total de residuos producidos en este proceso, comparado con HR1 que ocupa un 13%.



**Figura 17.** Composición de los RSO provenientes de la producción de hojas secas de Moringa

#### 4.1.3 Cálculo de la tasa de generación de RSO en el proceso de cultivo

A diferencia de los residuos analizados anteriormente, los restos de la poda del pasto de cobertura no forman parte de los procesos productivos de la empresa, sino de la siembra para la obtención de la materia prima a utilizar. Su análisis es crítico por la gran cantidad que se produce y por su naturaleza orgánica.

Como se mencionó anteriormente, en  $1m^2$  de terreno se producen 1.1 kg de residuos de pasto de cobertura. Para el presente estudio se realizó el cálculo de producción de RSO teniendo en cuenta que existe un área de 2.5 ha que corresponde a los cultivos de Moringa. Entonces R4 es igual a:

$$R4_x = 1.1 \frac{kg}{m^2} * 25000 m^2 = 27500kg$$

Stihl (s.f.), en una publicación menciona que una persona aproximadamente puede cortar 850 m<sup>2</sup>, trabajando 8 horas diarias (1 día laboral). En la finca Magaly Marilú, los capataces trabajan 6 días a la semana es decir 24 días al mes. Considerando este tiempo de trabajo. Se procedió a calcular el tiempo que tardará una persona en cortar las 2.5 ha de terreno dedicado al cultivo de Moringa.

$$\text{T tiempo de corte} = 25000 \text{ m}^2 * \frac{1 \text{ día laboral}}{850 \text{ m}^2} = 29 \text{ días}$$

$$\text{T tiempo de corte} = \frac{29 \text{ días}}{24 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = 1.2 \text{ mes}$$

Los valores anteriores sirven para conocer la tasa de generación de RSO producidos mensualmente:

$$R_4 = \frac{27500 \text{ kg}}{1.2 \text{ mes}} = 22916.67 \text{ kg/mes.}$$

La Tabla 19, indica que la producción mensual de residuos del proceso de cultivo corresponde a 22916.66 kg/mes.

**Tabla 19.** Tasa de generación mensual del proceso de cultivo

Cod.	Salida	Tasa de generación
		kg/mes
R <sub>4</sub>	Residuos producto del corte de pasto de cobertura	22916.66
<b>Total, de residuos generados al mes</b>		<b>22916.66</b>

#### 4.1.4 Cálculo de Tasa de Generación Total de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo

Se calculó la tasa de generación total con la Ecuación 11 y se obtuvo (Tabla 20):

$$X_{RSO} = 0.09 + 25.90 + 4.14 + 0.13 + 30.80 + 4.68 + 22916.67 = 22982.41 \text{ kg/mes}$$

**Tabla 20.** Tasa de generación total mensual de los RSO producidos en la elaboración de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo.

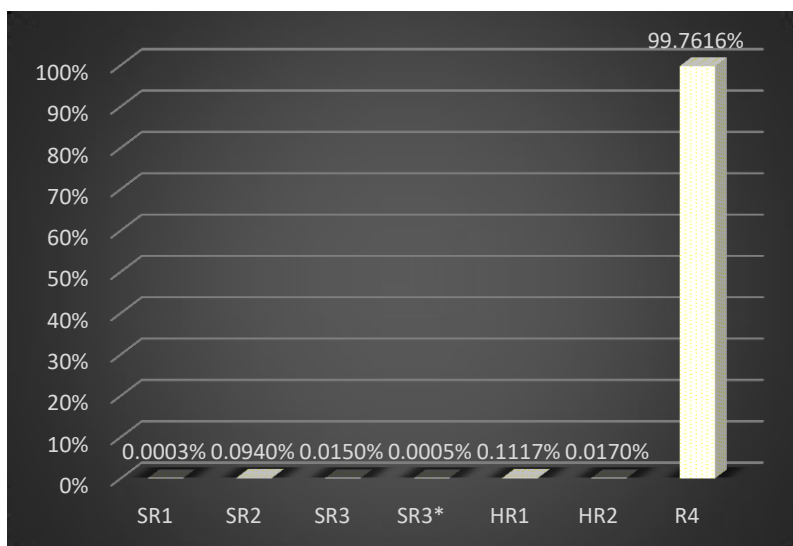
Cod	Tasa de generación
	Kg/mes
SR1	0.09
SR2	25.90
SR3	4.14
SR3*	0.13
HR1	30.80
HR2	4.68
R4	22916.67
<b>X<sub>RSO</sub></b>	<b>22982.41</b>

## 4.2 Composición de los RSO

La Tabla 21 y la Figura 18, muestran la composición de los diferentes RSO generados en la producción de aceite, hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo. Se obtuvo que del total de RSO caracterizados el 99.76% corresponde a R4 y el 0.24% restante corresponde a SR1, SR2, SR3, SR3\*, HR1 y HR2.

**Tabla 21.** Composición de los RSO

Residuo	Tasa de generación
Cod	%
SR1	0.0003%
SR2	0.0940%
SR3	0.0150%
SR3*	0.0005%
HR1	0.1117%
HR2	0.0170%
R4	99.7616%
Total	100%



**Figura 18.** Diagrama de barras de la composición de los RSO

Esta alta generación de RSO en el proceso de cultivo se debe a que en la zona hay un excesivo crecimiento de pasto de cobertura, que debe ser cortado o podado constantemente.

### 4.3 Cálculo de volumen y densidad de los RSO

La Tabla 22, presenta valores de volumen y densidad de los RSO en el proceso de producción de hojas secas de Moringa y proceso de cultivo. Para HR1 se obtuvo un volumen de 0.0025 m<sup>3</sup> con densidad 286.53kg/m<sup>3</sup>, para HR2 el volumen fue de 0.00119 m<sup>3</sup> con densidad igual a 565.39 y finalmente para R4 se obtuvo un volumen igual a 0.01m<sup>3</sup> con densidad 82.48kg/m<sup>3</sup>. En el caso de los residuos de la producción de aceite de Moringa no se pudo obtener estos valores ya que, en el estudio de Jirón (2022) que se toma como base en esta investigación no existe información sobre estos dos puntos.

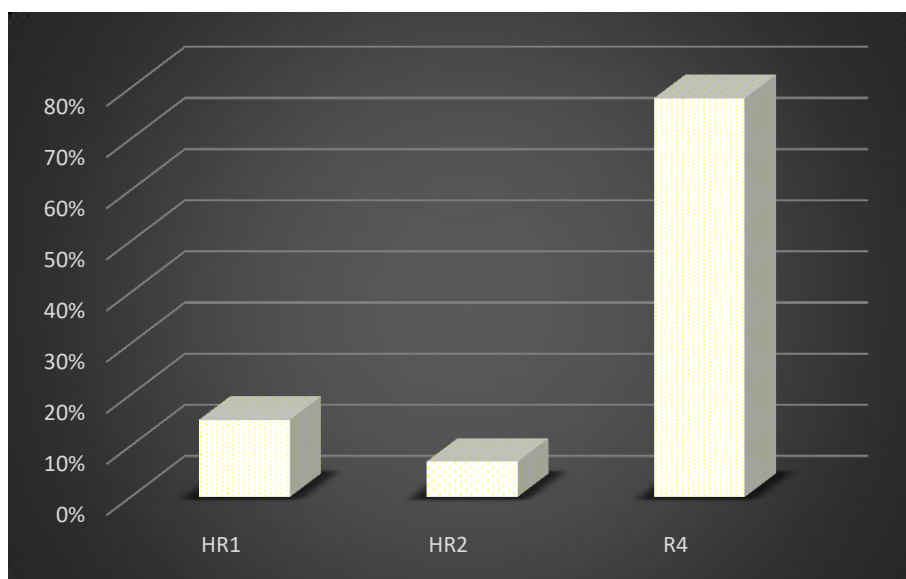
**Tabla 22.** Volumen y densidad de los residuos provenientes de la producción de hojas secas de Moringa y el proceso de cultivo

Cod	Volumen	Densidad
	m3	kg/m3
HR1	0.00258	286.53
HR2	0.00119	565.39
R4	0.01	82.48

Los residuos que mayor volumen presentaron fueron los provenientes del proceso de cultivo (R4), tal y como se observa en la Tabla 23 y Figura 19, que muestran que, del total de volumen ocupado, el valor de R4 corresponde al 78% del volumen total, HR1 al 15% y finalmente HR2 al 7%. En cuanto al peso específico de los RSO ocurre lo contrario, ya que el volumen es inversamente proporcional a la densidad

**Tabla 23.** Porcentaje de volumen ocupado por cada residuo

Residuo	Volumen
Cod	%
HR1	15%
HR2	7%
R4	78%
Total	100%



**Figura 19.** Diagrama de barras del % de volumen ocupado por los RSO

Analizando tanto la tasa de generación como el volumen y la densidad se tiene que R4 es el residuo de mayor importancia para el cálculo y diseño de las composteras. Se genera en grandes cantidades porque el terreno de cultivo correspondiente a 2.5 ha, debe estar limpio para evitar que este absorba el agua y nutrientes disponibles para los árboles de Moringa.

## **4.4 Evaluación de Impacto Ambiental**

### **4.4.1 Análisis de los impactos en la matriz Ad hoc**

Se evaluaron los impactos ambientales generados en las actividades de cultivo de la empresa FOMM S.A. Se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 24):

#### **Paisaje:**

Para el factor socioambiental "PAISAJE", los impactos estudiados en las diferentes actividades de cultivo fueron catalogados como negativos moderados, de baja prioridad con un NAG= -48, esto debido a que el paisaje no es un factor de alta importancia en las actividades agrícolas de la empresa; sino el mantenimiento de los terrenos de cultivo de Moringa.

#### **Aire**

En cuanto a aire la generación de RSO en todas las etapas de cultivo genera un impacto negativo por la emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros) que a su vez produce malos olores. Los impactos de este componente fueron calificados con un NAG= -64, catalogándolos como de prioridad media y nivel severo. Este factor socio-ambiental es de importancia ya que la empresa produce gran cantidad de RSO que al descomponerse causan contaminación ambiental.

Por otro lado, en el proceso de compostaje, para aire, se tiene un impacto positivo, ya que el tratamiento de los RSO disminuye la generación de gases de efecto invernadero y otras emisiones, consecuentemente influyendo en la reducción de olores. Este impacto se calificó con un NAG= 63 posicionándolo como de prioridad media y nivel favorable.

#### **Suelo**

Con respecto al componente suelo la producción de RSO provenientes de preparación de la tierra, siembra, cosecha, recolección de hojas, semillas y tallos de Moringa, generan impactos negativos severos de prioridad media con NAG entre -60. Aquí principalmente se analizó los residuos provenientes del pasto de cobertura debido a que su alta producción, disminuye la cantidad de nutrientes en el suelo ya que sus raíces absorben nutrientes esenciales (Acosta, 2021), afectando negativamente a los procesos productivos relacionados con la especie Moringa.



Dentro de este componente también se obtuvo impactos positivos, calificados entre NAG= 56 y 64, catalogados como de prioridad media y nivel favorable. Los impactos evaluados fueron disminución de RSO e incremento de la fertilidad y la reducción de fertilizantes orgánicos y acondicionadores que actualmente se compran para el suelo. Estos impactos son positivos porque la implementación de un sistema de compostaje ayuda a reducir RSO, ya que los convierte en compost que puede ser usado como fertilizante natural en las diferentes actividades de cultivo y además permite recolectar los lixiviados que se generan en este proceso, previniendo la contaminación del suelo.

### **Agua**

Para el factor agua los impactos estudiados fueron favorables con un NAG de 64 para el sistema de recolección de lixiviados que evita la contaminación de aguas subterráneas, generando así un impacto positivo en el medio ambiente con prioridad media.

### **Socio-Económico**

En este caso el principal impacto positivo es el incremento de la rentabilidad del proceso de cultivo, con un NAG de 60 resultando en un nivel favorable para la empresa y de prioridad media.

**Tabla 24:** Matriz Ad Hoc-Empresa FOMM

Actividades Cultivo	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Factores socioambientales	Calificación	Símbolo	Estado
Preparación de la Tierra	Movimiento de suelos	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por Remoción de Cobertura Vegetal	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
Siembra	Limpieza del terreno	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por poda de cobertura vegetal (limpieza del terreno)	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
Mantenimiento Post Siembra	Poda de pasto de cobertura.	Incremento de residuos sólidos orgánicos producto de la poda de plantación y cobertura vegetal presente.	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Incremento de insectos y roedores.	Paisaje	-17	-NS	Irrelevante/ prioridad NULA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
	Aplicación de inóculo bacteriano	Incremento de tamaño de mala hierba, pasto de cobertura.	Suelo	-61	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Incremento de nutrientes en el suelo	Suelo	60	+MEDS	Favorable/ prioridad MEDIA
	Uso de especie Moringa	Reducción de procesos erosivos y Restauración de la calidad fisicoquímica del suelo	Suelo	56	+MEDS	Favorable/ prioridad MEDIA
	Uso de Fumigadores Orgánicos para el control de plagas	Suprime (no elimina) el porcentaje de plaga	Suelo	64	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
	Uso de fertilizantes y acondicionadores	Mejoras a la calidad del suelo mediante el incremento de nutrientes	Suelo	63	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
	Uso de aceite de cadena y motor para el mantenimiento de los equipos y maquinarias	Incremento de residuos peligrosos provenientes de estos productos que generan presión sobre el sistema de gestión actual	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
Cosecha	Recolección de Hojas, Semillas y Tallos	Incremento de RSO por selección de semillas, poda de tallos y ramas	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA

Producción de Aceite de Moringa	Limpieza y selección de semillas para la producción de aceite	Incremento de RSO (semillas rechazadas) que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción.	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
	Prensado en frío	Incremento de RSO (residuos de semillas) que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
	Filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite) que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción.	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
	Segunda filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite) que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción.	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
Secado de Hojas de Moringa.	Clasificación	Incremento de RSO, en especial tallos y ramas que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
	Selección	Incremento de RSO, por rechazo de hojas que no pasan el proceso de selección	Suelo	-60	-MEDS	Severo/ prioridad MEDIA
			Paisaje	-48	-MEDS	Moderado/ prioridad BAJA
		Emisión de gases, producto de la descomposición del material rechazado del proceso de selección que genera gastos adicionales en el proceso de cultivo y producción.	Aire	-64	-S	Severo/ prioridad MEDIA
Proceso de Compostaje de RSO	Generación de compost	Disminución de RSO genera reducción de inversión económica	Suelo	63	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
		Disminución de malos Olores	Aire	63	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
		Prevención de vectores	Suelo	30	+PS	Imperceptible-Poco Significativo/ prioridad NULA
		Incremento de la fertilidad del suelo	Suelo	63	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
		Incremento de la rentabilidad del proceso de cultivo	Socioeconómico	60	+MEDS	Favorable/ prioridad MEDIA
		Reducción del uso de fertilizantes y acondicionadores orgánicos para el proceso de cultivo de moringa.	Suelo	64	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
	Recolección de lixiviados	Prevención de afección de cuerpos hídricos, en especial calidad de aguas subterráneas	Agua	64	+S	Favorable/ prioridad MEDIA
		Prevención de la disminución de pH en el suelo en condiciones anaerobias generando acidez	Suelo	64	+S	Favorable/ prioridad MEDIA

Para observar la matriz Ad Hoc completa dirigirse a ANEXO I.

## Diseño de Composteras

Para el diseño de las composteras, es importante conocer la tasa de generación de RSO generados y la densidad de los residuos, porque estos valores son los que facilitan y permiten el diseño de los sistemas de compostaje aerobio. La empresa FOMM produce 22982.41 kg de residuos al mes, 706.08 kg de residuos al día, con una densidad aproximada de 934.40 kg/m<sup>3</sup>. La Tabla 25, muestra información de tasa de generación y densidad de los RSO producidos por la empresa FOMM.

**Tabla 25:** Tasa de generación y densidad de los RSO producidos por la Empresa FOMM en el proceso de cultivo de la Moringa

Cod	Tasa de generación $X_{RSO}$		Densidad $\rho$
	kg/mes	kg/día	kg/m <sup>3</sup>
SR1	0.09	0.003	-
SR2	25.90	0.863	-
SR3	4.14	0.138	-
SR3*	0.13	0.004	-
HR1	30.80	1.027	286.53
HR2	4.68	0.156	565.39
R4	22916.67	763.89	82.48
<b>Residuos totales generados</b>	<b>22982.41</b>	<b>706.08</b>	<b>934.40</b>

### 4.4.2 Diseño de Composteras en Pilas Móviles triangulares, rectangulares y trapezoidales

En el caso de las pilas móviles, se diseñó tres diferentes tipos de composteras, triangulares, rectangulares y trapezoidales. Con la finalidad de elegir la opción que mejor se adapte a las necesidades de la empresa.

La alternativa uno de diseño fue las pilas triangulares. A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo aplicando las ecuaciones que van desde la 16 hasta la 32.

#### Ejemplo de cálculo:

En la Tabla 26, se encuentran datos tomados de RAS (2000) y Ávila (2018), que sirven como recomendaciones para el diseño de composteras en pilas.

**Tabla 26.** Recomendación RAS (2000) y Ávila (2018) para el diseño de composteras

Datos	Recomendación RAS (2000) y Ávila (2018)	Elección
BP	Entre 1.5 m y 3 m	2 m
hp	Entre 1 m y 2 m	1.5 m
LP	Mayor a 4 m	5 m
sh	1.5 m	1.5 m
T des	30 a 60 días	30 días
T mad	15 a 45 días	20 días

### Cálculo del área de descomposición

- 1) Se calculó el volumen parcial de la planta (VP), se usa la Ecuación 16:

$$VP = \frac{706.08 \frac{kg}{días} * 30 días}{934.40 kg/m^3} = 22.67 m^3$$

- 2) Se utiliza la ecuación 18, para calcular el área transversal de las pilas. Se tomó la recomendación de RAS (2000) y Ávila (2018), y se eligió como Bp y hp, 2m y 1.5 m respectivamente.

$$A_{TT} = \frac{2 m * 1.5 m}{2 m} = 1.5 m^2$$

- 3) Con la ecuación 20, se calcula el volumen de cada pila.

$$V_{pila} = 1.5 m^2 * 5 m = 7.5 m^3$$

- 4) Conociendo VP y Vpila se usa la ecuación 21, para conocer el número de pilas necesarias en el área de descomposición.

$$\#pilas = \frac{22.67 m^3}{7.5 m^3} = 3.02 = 4 pilas$$

- 5) Se procede a calcular el área que va a usar cada pila con la ecuación 22.

$$A_{pila} = 5 m * 2 m = 10 m^2$$

- 6) Teniendo Apila, se calcula el área requerida para todas las pilas de descomposición con la ecuación 23.

$$A_{CT} = 10 \text{ m}^2 * 4 = 40 \text{ m}^2$$

- 7) A continuación, se usa la ecuación 24, para determinar el área de espaciamiento entre pilas.

$$A_E = 1.5 \text{ m} * 4 * 5 \text{ m} = 30 \text{ m}^2$$

- 8) Finalmente, con la ecuación 25 se obtiene el área total de descomposición.

$$A_{fdes} = 30 \text{ m}^2 + 40 \text{ m}^2 = 70 \text{ m}^2$$

### **Cálculo del área de maduración**

- 1) Primero se calcula la longitud total de la pila de maduración con la ecuación 26

$$lm = \frac{7.5 \text{ m}^3 * \frac{1}{2}}{1.5 \text{ m}^2} = 2.5 \text{ m}$$

- 2) Seguidamente con la ecuación 27, se obtiene el número de pilas necesarias para la maduración.

$$\#pilas_m = \frac{2.5 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 0.5 = 1 \text{ pila}$$

- 3) A continuación, se calcula el área requerida para llevar a cabo el proceso de maduración.

$$A_m = 1 * 2 \text{ m} * 5 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$$

- 4) Al igual que en el área de descomposición, se debe calcular el área de espaciamiento para lo que se usa la ecuación 30

$$A_{EM} = 1.5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 1 = 7.5 \text{ m}^2$$

- 5) Con la ecuación 29, se calcula el área total del área de maduración

$$A_{TM} = 10 \text{ m}^2 + 7.5 \text{ m}^2 = 17.5 \text{ m}^2$$

- 6) La ecuación 31 permite conocer el volumen de lixiviados que se generaran en el proceso, y se usa para calcular el número de tanques de recolección de lixiviados

$$V_{lix} = \frac{0.38 \text{ ton/día}}{7} * 0.05 * 1.5 * (30 + 20) \text{ días} = 0.38 \text{ m}^3$$

$$\#tanques\ necesarios = \frac{0.38\ m^3}{0.2\ m^3} = 1.9 = 2\ tanques$$

7) Finalmente, para obtener el área total de compostaje se usa la ecuación 32

$$A_T = 17.5\ m^2 + 70\ m^2 = 87.5\ m^2$$

Este ejemplo de cálculo es adaptable para las pilas rectangulares, trapezoidales y pilas estáticas con ventilación forzada.

Como resultados se obtuvo para las pilas móviles triangulares la elaboración de 5 composteras que abarquen un volumen de  $7.5\ m^3$ , y ocupen un área total de  $87.5\ m^2$ , por otro lado, las composteras rectangulares deben contar con 3 pilas, que contengan un volumen de  $15\ m^3$ , y ocupen un área de  $52.5\ m^2$ , y como última alternativa para las composteras trapezoidales es necesario construir 7 pilas que tengan un volumen de  $5\ m^3$  y ocupen un espacio de  $125.5\ m^2$ . Estos datos se encuentran enlistados en la Tabla 27.

**Tabla 27:** Diseño de composteras móviles triangulares, rectangulares y trapezoidales

Parámetros de diseño	Cod	Composteras triangulares	Composteras rectangulares	Composteras trapezoidales	Unidades
<b>ÁREA DE DESCOMPOSICIÓN</b>					
Volumen de la planta	VP	29.5	29.5	29.5	$m^3$
Área transversal (triangular)	ATT	1.5	3	1	$m^2$
Volumen de la pila	Vpila	7.5	15	5	$m^3$
Número de pilas necesarias	#pilas	4	2	6	pilas
Área inicial de descomposición	Apila	10	10	10	$m^2$
Área total de descomposición	ACT	40	20	60	$m^2$
Área total de espaciamiento	AE	30	15	45	$m^2$
<b>Área total de descomposición</b>	<b>AfDES</b>	<b>70</b>	<b>35</b>	<b>105</b>	$m^2$
<b>ÁREA DE MADURACIÓN</b>					
Longitud total de la pila de maduración	lm	2.5	5	1.1	m
Número de pilas de maduración	#pilaM	1	1	1	pilas
Área de maduración	AM	10	10	10	$m^2$
Área de espaciamiento	AEM	7.5	7.5	7.5	$m^2$
<b>Área total de maduración</b>	<b>ATM</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	$m^2$
<b>Área total usada por las pilas de compostaje</b>	<b>AT</b>	<b>87.5</b>	<b>52.5</b>	<b>125.5</b>	<b>m2</b>
Tanques necesarios recolección de lixiviados	#tanques necesarios	2	2	2	tanques

#### 4.4.3 Diseño de Composteras en Pilas Estáticas Rectangulares con Ventilación Pasiva

Para este tipo de composteras, se usa las ecuaciones y cálculos aplicados con antelación en el diseño de pilas móviles, lo que cambia es el sistema de aireación.

A continuación, la Tabla 28, muestra el diseño de la compostera en pilas rectangulares con ventilación pasiva. Se tiene que, con este método de compostaje se necesita de 3 pilas, que contengan un volumen de  $15\text{m}^3$  y ocupen un área de  $52.5\text{ m}^2$ . Para este sistema de ventilación pasiva es necesaria la incorporación de aireadores pasivos (tubería PVC) de forma horizontal y vertical. La cantidad de tubos necesarios se encuentra enumerada en la Tabla 28:

**Tabla 28:** Diseño de compostera con ventilación pasiva

Parámetros de diseño	Cod	Compostera rectangular	Unidades
<b>Área de descomposición</b>			
Volumen de la planta	VP	29.50	m <sup>3</sup>
Área transversal (triangular)	ATT	3	m <sup>2</sup>
Volumen de la pila	Vpila	15	m <sup>3</sup>
Número de pilas	#pilas	1.97	pilas
Número de pilas necesarias	#pilas	2	pilas
Área inicial de descomposición	Apila	10	m <sup>2</sup>
Área total de descomposición	ACT	20	m <sup>2</sup>
Separación entre hileras	Sh	1.5	m
Área total de espaciamiento	AE	15	m <sup>2</sup>
Área total de descomposición	AfDES	35	m <sup>2</sup>
<b>Área de maduración</b>			
Longitud total de la pila de maduración	lm	5	m
Número de pilas de maduración	#pilaM	1	pilas
Área de maduración	AM	10	m <sup>2</sup>
Área de espaciamiento	AEM	7.5	m <sup>2</sup>
Área total de maduración	ATM	17.5	m <sup>2</sup>
Área total usada por las pilas de compostaje	AT	52.5	m <sup>2</sup>
Tanques necesarios recolección de lixiviados	#tanques necesarios	2	tanques
<b>Sistema de ventilación con tuberías</b>			
Diámetro del tubo	dtub	4	plg
Largo de tubería	Ltub	3	m
Tubos horizontales	#tubosh	12	tubos



Tubos verticales	#tubosv	10	tubos
<b>Tubería necesaria</b>		<b>22</b>	<b>tubos</b>

#### 4.4.4 Diseño de composteras horizontales

Entre otra de las alternativas se encuentran las composteras horizontales, que tratan los residuos en un biodigestor.

A continuación, se indica un ejemplo de cálculo:

- 1) Se calcula el volumen de los RSO, con la ecuación 33

$$V_{RSO} = \frac{22982.41 \frac{kg}{mes}}{934.40 \frac{kg}{m^3}} = 24.59 m^3 = 24595.86 L$$

- 2) Conociendo el  $V_{RSO}$ , se procede a analizar el número de tanques necesarios para tratar los RSO. Se utiliza la ecuación 34.

$$\#tanques = \frac{24595.86 L}{200 L} = 122.98 = 123 \text{ tanques de } 200 L$$

- 3) Con la ecuación 35, se calcula el área que va a ocupar cada tanque que

$$A_{Tanque} = 0.9m * 0.6m = 0.54 m^2$$

- 4) Se procede a calcular el área que van a ocupar 123 tanques

$$A_{TT} = 0.54 m^2 * 123 = 66.42 m^2$$

- 5) En las composteras horizontales también es necesario calcular un área de espaciamento, para estos fines se usa la ecuación 37

$$A_{EH} = 0.6 m * 1m * 123 = 110.68 m^2$$

- 6) Finalmente, con la ecuación 38 se obtiene el área final ocupada por las composteras.

$$A_{FCH} = 110.68 + 66.42 = 177.10 m^2$$

Con los cálculos anteriores, se obtiene que, para realizar este tipo de compostaje con los RSO generados por la empresa FOMM, es necesario comprar 123 tanques comerciales

de 200 L. Además, se debe tener en cuenta que cada tanque ocupa un área de 0.54 m<sup>2</sup>, y para alojar a todos los tanques mencionados se necesita de un área de 177.10 m<sup>2</sup>, tal y como se observa en la Tabla 29.

**Tabla 29:** Diseño Compostera Horizontal

<b>Compostera Horizontal</b>			
<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Cod</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Tanques comerciales		200	litros
Volumen RSO generados	VRSO	24595.86	litros/mes
Tanques necesarios	#tanques	123	bidones
Altura del tanque	hTanque	0.9	m
Diámetro del tanque	dTanque	0.6	m
Área usada por el tanque	Atanque	0.54	m <sup>2</sup>
Área usada por 123 tanques	ATT	66.42	m <sup>2</sup>
Separación entre taques	St	1	m
Área de espaciamiento	AEH	110.68	m <sup>2</sup>
Área final ocupada por las composteras	AFCH	177.10	m <sup>2</sup>

El Anexo II, III, IV, V y VI muestran el diseño gráfico de las sistemas de compostaje estudiados anteriormente.

## **4.5 Elección de las alternativas de compostaje aerobio**

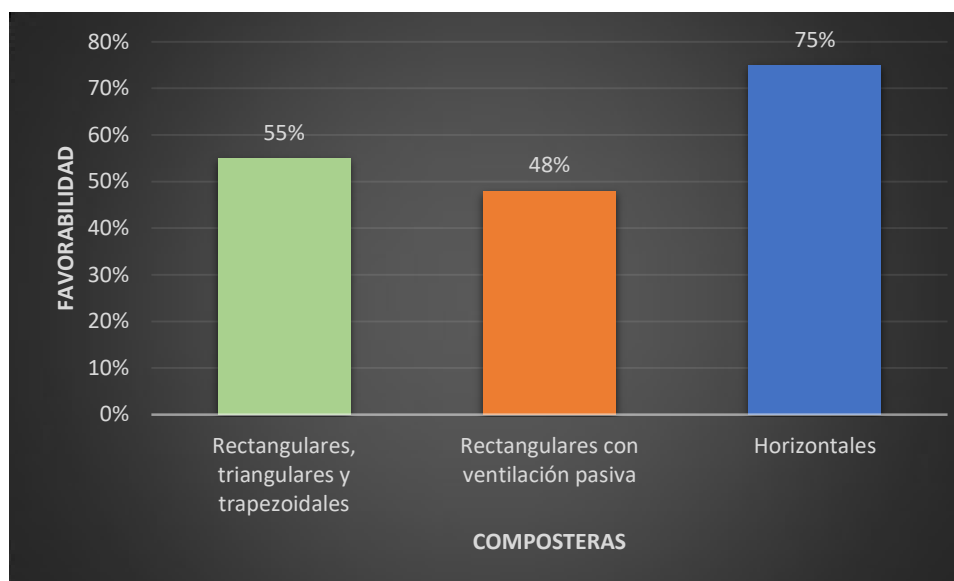
Conociendo el área que van a ocupar las composteras, la cantidad de pilas y biodigestores necesarios se procedió a realizar la elección de la mejor alternativa de compostaje, en donde se comparó parámetros técnicos cualitativos y cuantitativos, así como costos de inversión de las diferentes alternativas de compostaje.

### **4.5.1 Evaluación de parámetros técnicos cualitativos**

Se obtuvo que, para los parámetros cualitativos las composteras horizontales alcanzan un porcentaje de favorabilidad del 75%, seguidas por las composteras móviles con un 55% y finalmente con un 48% se encuentran las pilas con ventilación pasiva (Tabla 30). Esta calificación posiciona como alternativa número uno a las composteras horizontales, tal y como se observa en la Figura 20.

**Tabla 30:** Comparación de parámetros técnicos cualitativos entre las composteras móviles, con ventilación pasiva y horizontales.

Parámetros técnicos cualitativos						
Parámetros	unidades	Pila móvil			Pila estática rectangular con ventilación pasiva	Compostera horizontal
		Composteras triangulares	Composteras rectangulares	Composteras trapezoidales		
Velocidad del proceso	A	1			1	5
Generación de olores	B	3			4	5
Tecnología	C	5			2	3
Control de aireación	D	4			1	2
Frecuencia de volteos	E	3			4	3
Sensibilidad al clima	F	2			2	5
Tiempo de duración	G	1			1	4
Calidad del compost	H	3			4	3
<b>TOTAL</b>		<b>22</b>			<b>19</b>	<b>30</b>
<b>Favorabilidad</b>		<b>55%</b>			<b>48%</b>	<b>75%</b>



**Figura 20:** Porcentaje de favorabilidad de los métodos de compostaje aerobios analizados.

#### 4.5.2 Evaluación de parámetros técnicos cuantitativos

Se evaluaron los parámetros técnicos cuantitativos, y en el caso de pilas móviles de compostaje, las pilas rectangulares son las que menor espacio ocupan ( $52.5 \text{ m}^2$ ) y menos

pilas requieren (3 pilas), comparado con las triangulares ( área= 87.5 y #pilas= 5) y las trapezoidales ( área= 125.5 y #pilas= 7). En el caso de las composteras en pilas estáticas ocupan el mismo espacio y número de pilas, pero difieren en la cantidad de tubería necesaria, las pilas estáticas requieren de 46 tubos de PVC tanto para recolección de lixiviados como para la aireación pasiva comparada con las pilas móviles rectangulares que requieren de 4 tubos de PVC, útiles para la recolección de lixiviados. Finalmente, para las composteras horizontales no se ocupa tubería PVC, ni se diseñan pilas, pero es necesario el uso de tanques (123 tanques) que actúan como recipientes de RSO. La Tabla 31, muestra los resultados antes mencionados.

**Tabla 31:** Comparación de parámetros técnicos cuantitativos entre las composteras en pilas móviles, estáticas con ventilación pasiva y horizontales.

Parámetros técnicos Cuantitativos						
Parámetros	unidades	Pila móvil			Pila estática rectangular con aireación forzada	Compostera horizontal
		Composteras triangulares	Composteras rectangulares	Composteras trapezoidales		
Área ocupada	m2	87.5	52.5	125.5	52.5	177.10
#pilas necesarias	u	5	3	7	3	*
# tanques necesarios	u	2	2	2	2	123
Tubería PVC	u	7	4	7	46	*

#### 4.5.3 Evaluación de parámetros económicos

Se evaluó los parámetros económicos de todos los sistemas antes mencionados y se obtuvo para:

##### Composteras móviles Rectangulares

El costo aproximado por construir 3 pilas móviles rectangulares que traten los RSO generados por los diversos procesos productivos y recojan los lixiviados es de 1375.45\$. Ver Tabla 32.

**Tabla 32:** Análisis de costos de construcción de pilas móviles rectangulares.

Rectangular							
Nro	Actividad/materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad usada	Cantidad usada	Número de pilas	Subtotal
				por pila	por área		
1	Limpieza de terreno y construcción de la pendiente	\$/h	30	-	6	3	180
2	Impermeabilización del suelo y construcción de bordes	\$/m2	25	10	-		750
3	Malla plástica	\$/m	3.04	15	-		136.8
4	Varillas de acero 120 mm	\$/U	15.25	1	-		45.75
5	Plástico negro para cubrir las pilas	\$/m	1.18	6	-		21.24
6	Tubos PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	11.29	-	4	-	45.16
7	Codos y tees PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	5.5	-	3	-	16.5
8	Tanque recolección lixiviados	\$/U	60	-	3	-	180
<b>TOTAL</b>							<b>1375.45\$</b>

### Composteras móviles Triangulares

Las composteras triangulares ocupan un mayor número de pilas para el tratamiento de los RSO, debido a que por su forma geométrica no pueden contener el mismo volumen que las pilas rectangulares. Por esta razón se requiere de mayor inversión para la construcción de estas pilas. En promedio para construir 5 pilas rectangulares se necesita de 1751.93\$. Ver Tabla 33.

**Tabla 33:** Análisis de costos de construcción de pilas móviles triangulares.

Triangular							
Nro	Actividad/materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad usada	Cantidad usada	Número de pilas	Subtotal
				por pila	por área		
1	Limpieza de terreno y construcción de la pendiente	\$/h	30	-	6	-	180
2	Impermeabilización del suelo y construcción de bordes	\$/m2	25	10	-	5	1250
3	Plástico negro para cubrir las pilas	\$/m	1.18	6	-		35.4
4	Tubos PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	11.29	-	7	-	79.03
5	Codos y tees PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	5.5	-	5	-	27.5
6	Tanque recolección lixiviados	\$/U	60	-	3	-	180
<b>TOTAL</b>							<b>1751.93\$</b>

### Composteras móviles Trapezoidal

Para construir pilas trapezoidales, se debe invertir una cantidad aproximada de 2277.09 \$. Estos valores incluyen limpieza de terreno, y materiales necesarios para la construcción de 7 pilas. Ver Tabla 34.

**Tabla 34:** Análisis de costos de construcción de pilas móviles trapezoidales.

Nro	Actividad/materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad usada	Cantidad usada	Número de pilas	Subtotal
				por pila	por área		
1	Limpieza de terreno y construcción de la pendiente	\$/h	30	-	6	-	180
2	Impermeabilización del suelo y construcción de bordes	\$/m2	25	10	-	7	1750
3	Plástico negro para cubrir las pilas	\$/m	1.18	6	-		49.56

4	Tubos PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	11.29		7		79.03
5	Codos y tees PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	5.5		7		38.5
6	Tanque recolección lixiviados	\$/U	60		3		180
<b>TOTAL</b>							<b>2277.09\$</b>

### Compostera de pilas estáticas rectangulares con ventilación pasiva

En cuanto a costos por construcción de las pilas estáticas rectangulares con ventilación pasiva, el precio incrementa ya que se necesita de material extra que facilite la aireación de las pilas. Se tiene que si se desea construir 3 pilas rectangulares con aireación pasiva se debe invertir 2395.03\$. Ver Tabla 35

**Tabla 35:** Análisis de costos de construcción de pilas rectangulares con ventilación pasiva.

Nro.	Actividad/materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad usada		Número de pilas	Subtotal
				por pila	por área		
1	Limpieza de terreno y construcción de la pendiente	\$/h	30	-	6	3	180
2	Impermeabilización del suelo y construcción de bordes	\$/m2	25	10	-		750
3	Malla plástica	\$/m	3.04	15	-		136.8
4	Varillas de acero 120 mm	\$/U	15.25	1			45.75
5	Plástico negro para cubrir las pilas	\$/m	1.18	6			21.24
6	Tubos PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	11.29	-	4	-	45.16
7	Codos y tees PVC 75 MM desagüe lixiviados	\$/U	5.5	-	3	-	16.5
8	Tanque recolección lixiviados	\$/U	60	-	3	-	180
6	Tubos PVC para aireación	\$/U	13.99	14	-	3	587.58
7	Uniones de tubería PVC	\$/U	8	18	-		432
<b>TOTAL</b>							<b>2395.03\$</b>

### Composteras horizontales

Finalmente, como última alternativa se evaluó los costos de construcción de las composteras horizontales. En este caso los costos se elevan ya que se usan tanques

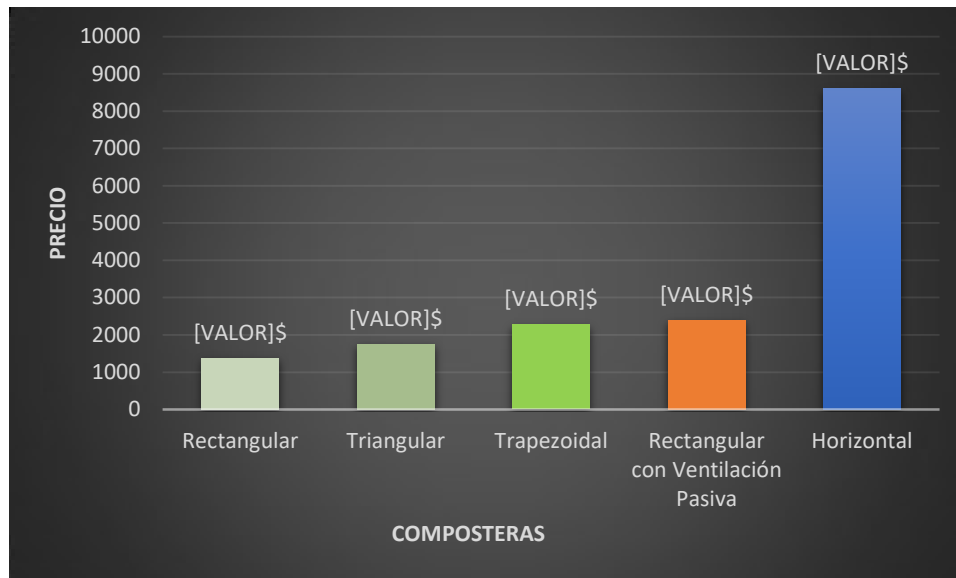
cerrados que faciliten el proceso de compostaje, y la inversión en estos equipos es alta. En promedio se necesita de 8596\$, para usar este sistema. Ver Tabla 36.

**Tabla 36:** Análisis de costos de construcción de composteras horizontales.

Nro	Actividad/materiales	Unidad	Precio unitario	Cantidad usada	Subtotal
1	Limpieza de terreno y construcción de la pendiente	\$/h	30	6	180
2	Tanques de compostaje	\$/U	60	148	8880
3	Estructura soporte y tambor giratorio de metal	\$/U	7	148	1036
				<b>Total</b>	<b>8596\$</b>

Se elige como mejor alternativa de compostaje a las pilas móviles rectangulares, debido a que ocupan un área pequeña para el funcionamiento, y necesita de una baja inversión para su construcción en comparación con los otros métodos analizados, tal y como se observa en la Figura 21. Es importante tener en cuenta que no se consideró costos por mano de obra ya que la empresa cuenta con personal que puede desenvolverse en las actividades de construcción.

**Figura 21:** Comparación de costos de construcción de composteras aerobias, rectangulares, triangulares, trapezoidales, rectangulares con ventilación pasiva y horizontales.





## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se identificó los RSO generados en la empresa FOMM por las actividades de cultivo de la especie Moringa y se obtuvo la tasa de generación de RSO. En la producción de aceite se alcanzó una tasa de RSO de 30.26 kg/mes, para la producción de hojas secas de moringa, con un total de RSO de 35.48 kg/mes y finalmente en el proceso de cultivo una tasa de generación de RSO de 22916.66 kg/mes. En donde claramente se observa que el proceso de cultivo que engloba la poda del pasto de cobertura en el terreno donde se desarrollan las actividades de cultivo es el que más residuos genera ya que del total de RSO caracterizados el 99.76% corresponde a estos residuos y el 0.24% restante corresponde a los RSO generados en la producción de aceite y hojas secas de Moringa.
- Se reafirma la conclusión de Jirón (2022) referente a gastos de transporte y gestión de residuos innecesarios, que ocasionan pérdidas anuales de 3110.8 USD a la empresa, dado que como se puede observar en los resultados de la composición, los residuos de la producción de aceite tan solo forman parte del 0.24% de los RSO generados en total en las actividades de cultivo, elaboración de hojas secas y aceite de moringa. Por lo tanto, la mejor alternativa de gestión para este tipo de residuos provenientes de la elaboración de aceite es el tratamiento de aguas residuales o la venta de estos residuos para dicho propósito.
- Se realizó el cálculo de la densidad de los RSO en la producción de hojas secas de Moringa y en el proceso de cultivo, se alcanzó una densidad de 851.92 kg/m<sup>3</sup> y 82.48 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Estos valores indican que el pasto de cobertura generado como residuo del proceso de cultivo ocupa mayor espacio que los residuos producidos por la elaboración de hojas secas. Factor que los convierte en el residuo de mayor interés para el diseño de composteras aerobias.
- En cuanto a la evaluación de los impactos ambientales en la producción de RSO provenientes de la preparación de la tierra, siembra, cosecha, recolección de hojas, semillas y tallos de Moringa, se calificaron 4 factores socio-ambientales: paisaje, aire, agua, suelo y 1 socio-económico. Los valores promedio de Nivel de

Afectación Global fueron -48, -64, -64 y -60 respectivamente. Catalogándolos como Impactos Negativos de prioridad media y baja de nivel severo o moderado. Estos resultados muestran que los RSO generados en las actividades de cultivo de la especie Moringa originan impactos negativos en los diferentes componentes medioambientales, debido a que la descomposición de los RSO emanan gases de efecto invernadero, en especial  $CH_4$  y  $H_2S$  que causan malos olores, además segregan sustancias tales como los lixiviados que pueden llegar a convertirse en contaminantes ambientales. Adicionalmente pueden causar otros impactos como la reducción de la cantidad de nutrientes en el suelo, afectando negativamente a los procesos productivos de la empresa.

- A través de la evaluación de impactos ambientales se analizaron Impactos Positivos con valores de Nivel de Afectación Global de entre 56 y 64 puntos de calificación, considerados de prioridad media y nivel favorable. Por lo que se visualiza que con la implementación de un sistema de compostaje se disminuye la cantidad de RSO, de lixiviados en el suelo, agua y se aumenta la rentabilidad de la empresa, ya que el tratamiento de los residuos genera menor inversión en disposición final, reducción impactos ambientales. Además, ocasiona ganancias, ya que el producto que se obtiene tras el compostaje puede ser sujeto de revalorización en los mercados y puede ser usado como fertilizante natural en las actividades agrícolas que se efectúan en la misma empresa limitando la compra de fertilizantes orgánicos y acondicionadores a terceros, evitando con ello también otro tipo de residuos provenientes de esos productos.
- Se analizaron 5 alternativas de compostaje aerobio, de las cuales se escogió como mejor opción las composteras móviles rectangulares ya que son las que menor costo de inversión requieren, con un total de 1375.45\$. Además, son la opción más viable, ya que ocupan áreas pequeñas ( $52.5 \text{ m}^2$ ) comparadas con los otros métodos estudiados. El ocupar un área pequeña implica la construcción de menos pilas de compostaje y el uso de menor cantidad de recursos consecuentemente puede generar una reducción de costos de inversión para la empresa FOMM. Estas composteras en pilas son fáciles de construir, ya que no requieren de muchos materiales y equipos.

## 5.2 Recomendaciones

- Para proyectos o investigaciones futuras se recomienda la implementación a escala piloto de los sistemas de compostaje estudiados, para determinar la mejor alternativa de compostaje aerobio no solo teniendo en cuenta parámetros técnicos y económicos si no también evaluando la eficacia y eficiencia de cada método, considerando factores climáticos o ambientales propios del sitio, que puedan incidir directamente en la obtención de compost.
- Es importante tener en cuenta que las antes de introducir los residuos sólidos orgánicos en cualquiera de las composteras, se debe realizar una trituración de los residuos, para disminuir el volumen ocupado y acortar el tiempo de descomposición. Esta técnica de trituración favorece a una producción temprana de compost.
- Dada la alta composición de RSO formada en su mayoría de restos del pasto de cobertura se recomienda realizar un estudio referente a la utilización del lixiviado proveniente de los procesos de compostaje para extracción de nitrógeno orgánico que puede embotellarse, valorizarse e inclusive venderse. Este método puede obtenerse de patentes internacionales.
- Finalmente, si se produce la implementación de cualquiera de los cinco sistemas estudiados, la empresa FOMM debe realizar una capacitación a sus colaboradores para que conozcan el funcionamiento del sistema compostaje y ayuden al buen desarrollo de este.

## BIBLIOGRAFIA

- Altadill, R., Payán, A., Elías, X., & Bruno, A. (2009). *Reciclaje de residuos industriales*. (X. Elías, Ed.) (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). España: Díaz de Santos. Recuperado de <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788353.pdf>
- Alvaro, G. (2019). Ventajas y desventajas del compostaje. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.fertibox.net/single-post/ventajas-compost>
- Amigos de la Tierra. (2019). Compostaje: residuos orgánicos - Amigos de la Tierra. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.tierra.org/compostaje/>
- Ariadna, I. (2022). Evaluación de impacto ambiental (EIA) | 2022 | Economipedia. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://economipedia.com/definiciones/evaluacion-de-impacto-ambiental-eia.html>
- CELEC. (s. f.). *Instrutivo para la gestión de residuos sólidos* (Vol. 1). Cuenca. Recuperado de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/Ambiente/Gestion.de.residuos.solidos.pdf>
- Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. *Revista Academia & Virtualidad*, 9(2), 90-107. Recuperado de <http://bbibliograficas.ucc.edu.co:2063/lib/ucooperativas/detail.action?docID=11045964&p00=elias+castells>
- Garita, N., & Rojas, J. (2013). Guía practica para el manejo de residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. Costa Rica. Recuperado de <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/ManualComposteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gavilanes, C. (2016). Estudio sobre gestión de residuos agroindustriales en Chimborazo. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.residuosprofesional.com/estudio-gestion-sostenible-residuos-agroindustriales-chimborazo-ecuador/>
- IPES. (2003). *Guía Practica N2 Para el aprovechamiento de RSO* (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Quito. Recuperado de <https://rfd.org.ec/biblioteca/pdfs/LG-056.pdf>
- ISO 14001. (2015). ¿Qué es la evaluación del impacto ambiental y cuáles son sus

ventajas? Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.nueva-iso-14001.com/2021/12/que-es-la-evaluacion-del-impacto-ambiental-y-cuales-son-sus-ventajas/>

Junta de Andalucía. (s. f.). SISTEMAS Y TÉCNICAS PARA EL COMPOSTAJE. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas\\_y\\_tecnicas\\_para\\_el\\_compostaje.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf)

Mijangos, O., & López, L. (s. f.). Metodologías para la identificación y valoración de impactos ambientales Introducción. Recuperado de [https://www.utm.mx/edi\\_anteriores/temas50/T50\\_2Notas1-MetodologiasparalaIdentificacion.pdf](https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas50/T50_2Notas1-MetodologiasparalaIdentificacion.pdf)

MoringaEC. (s. f.). Moringa 593, Ecuador, productos, polvo y hojas deshidratadas. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.moringaec.com/>

NTE INEN 2841. GESTIÓN AMBIENTAL. ESTANDARIZACIÓN DE COLORES PARA RECIPIENTES DE DEPÓSITO Y ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. REQUISITOS (2014). QUITO. Recuperado de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2841.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2841.pdf)

Proaño A, P., & Rojas, S. (2020). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Recuperado de [www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf)

Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS. <https://doi.org/0.22320/S07179103/2018.13>

Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (s. f.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013 Autores. Recuperado de [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)

SEMARNAT. (2018). Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

- Tique, P. (2014). METODOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL by Paolita Tique. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <https://prezi.com/z0po5o8j-mp-/metodos-de-evaluacion-de-impacto-ambiental/>
- Tortosa, G. (2015). Sistemas de compostaje – Compostando Ciencia. Recuperado 6 de septiembre de 2022, de <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>
- TULSMA. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (2015). Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, V(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Viteri, D. P., & Tapia, C. (2018). Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio Ecuadorian economy: from agricultural production to service. *Espacios*, 39(32), 30-36.

## ANEXOS

### ANEXO I: Evaluación de Impactos Ambientales proceso de cultivo, elaboración de aceite y hojas secas de Moringa

Actividades Cultivo	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Factores	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperabilidad	NAG	Símbolo	Nivel	Prioridad
Preparación de la Tierra	Movimiento de suelos	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por Remoción de Cobertura Vegetal	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
Mantenimiento Post Siembra	Limpieza del terreno	Incremento de Residuos Sólidos Orgánicos por poda de cobertura vegetal (limpieza del terreno)	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
	Poda de pasto de cobertura.	Incremento de residuos sólidos orgánicos producto	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media

	de la poda de plantación y cobertura vegetal presente.	Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
	Incremento de insectos y roedores.	Paisaje	-1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	-17	-NS	Irrelevante	Nula
	Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
Aplicación de inóculo bacteriano	Incremento de tamaño de mala hierba, pasto de cobertura.	Suelo	-1	8	8	4	1	2	2	4	4	2	2	-61	MEDS	Moderado	Baja
	Incremento de nutrientes en el suelo	Suelo	1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	60	+MEDS	Favorable	Media
Uso de especie Moringa	Reducción de procesos erosivos y Restauración de la calidad físico-química del suelo	Suelo	1	8	8	2	2	1	2	4	1	2	2	56	+MEDS	Favorable	Media
Uso de fumigadores orgánicos para el control de plagas	Suprime (pero no elimina) el porcentaje de plaga	Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media
Uso de fertilizantes y Acondicionadores.	Mejoras a la calidad del suelo mediante el incremento de nutrientes	Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media



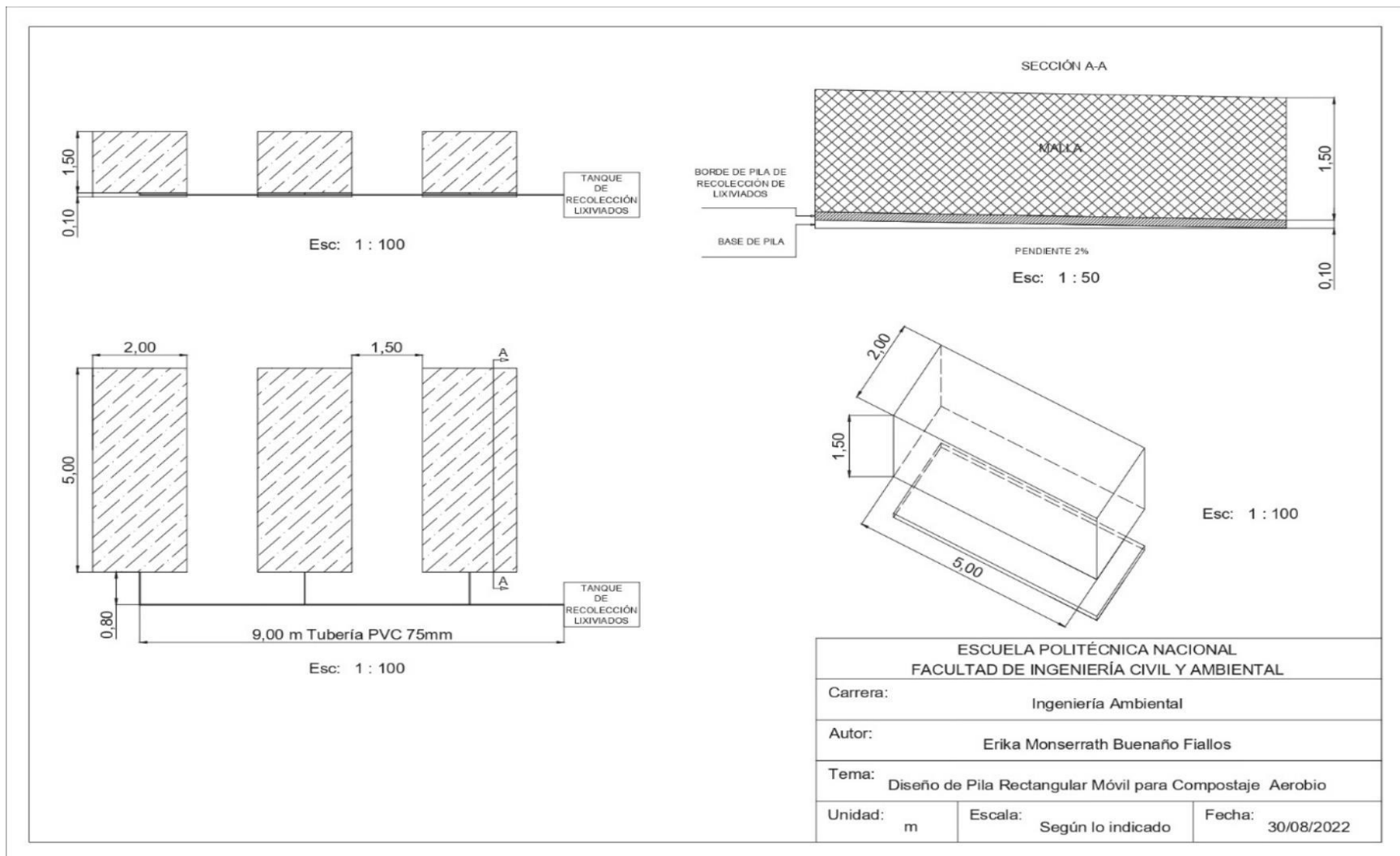
	Uso de aceite de cadena y motor para el mantenimiento de los equipos y maquinarias	Incremento de los residuos peligrosos provenientes de estos productos que generan presión sobre el sistema de gestión actual de residuos.	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
Cosecha	Recolección de Hojas, Semillas y Tallos	Incremento de RSO por selección de semillas, poda de tallos y ramas	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
		Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media	
Producción de Aceite de Moringa	Limpieza y selección de semillas para la producción de aceite	Incremento de RSO (semillas rechazadas)	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
		Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media	
	Prensado en frío	Incremento de RSO (residuos de semillas)	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja

		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
	Filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite)	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
	Segunda filtración del aceite de moringa	Incremento de RSO (impurezas sólidas del aceite)	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja
			Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo
Desecado de Hojas de Moringa.	Clasificación	Incremento de RSO, en especial tallos y ramas	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja

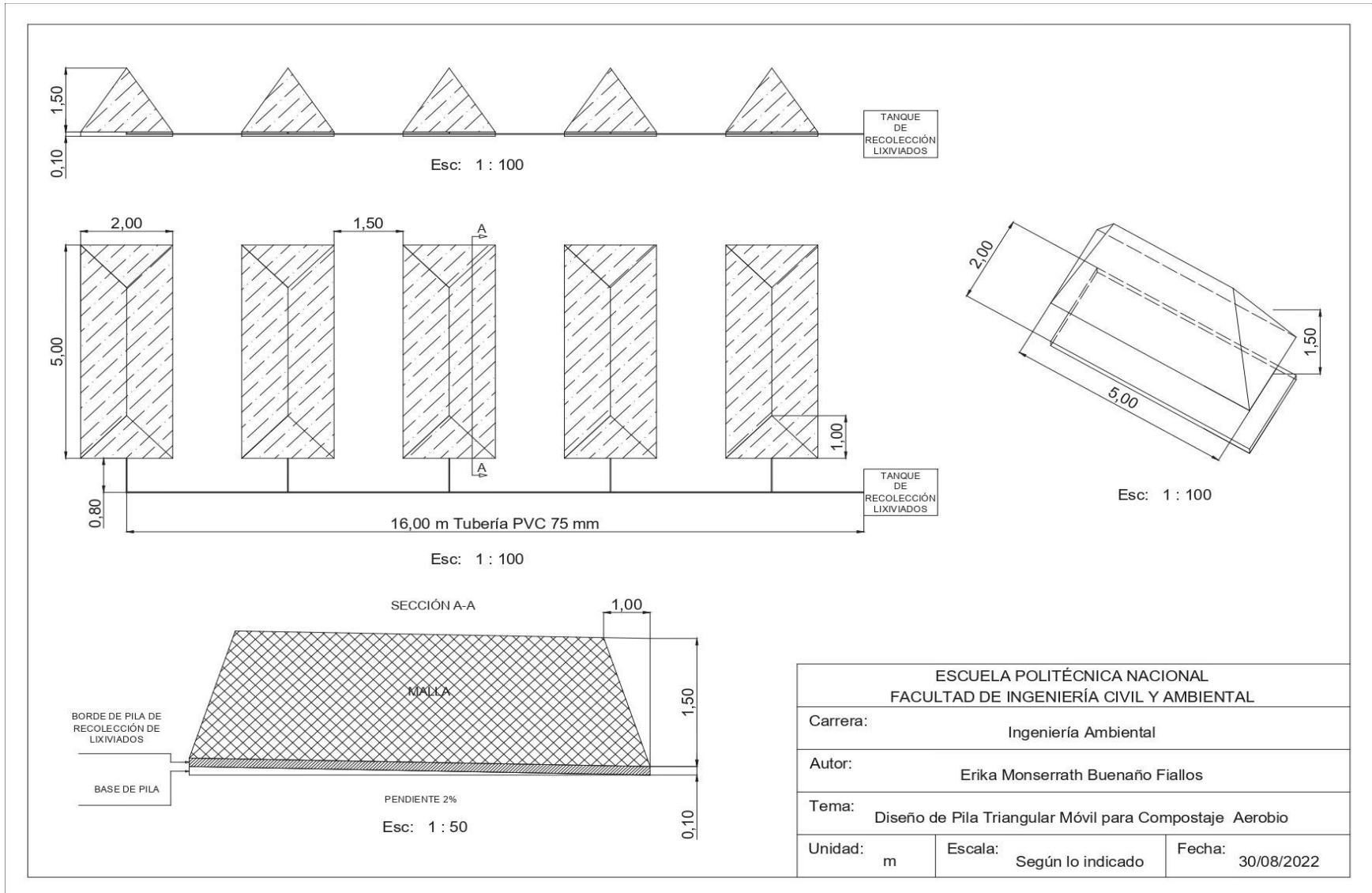
		Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media	
	Selección	Incremento de RSO, por rechazo de hojas que no pasan el proceso de selección	Suelo	-1	8	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-60	-MEDS	Severo	Media	
			Paisaje	-1	4	8	4	1	1	2	4	4	2	2	-48	-MEDS	Moderado	Baja	
			Emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros).	Aire	-1	8	8	2	2	4	2	4	4	2	4	-64	-S	Severo	Media
	Proceso de Compostaje de RSO	Generación de compost	Disminución de RSO	Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media
Disminución de peor Olores			Aire	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media	
Prevención de vectores			Suelo	1	4	1	2	4	1	2	4	1	1	1	30	PS	Imperceptible	Nula	
Incremento de la fertilidad del suelo			Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media	
Reducción del uso de fertilizantes y acondicionadores orgánicos para el proceso de cultivo de moringa.			Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media	

		Incremento de la rentabilidad del proceso de cultivo	Socioeconómico	1	8	8	2	4	4	2	4	1	1	2	60	+MEDS	Favorable	Media
Recolección de lixiviados		Prevención de afectación de cuerpos hídricos, en especial calidad de aguas subterráneas.	Agua	1	8	8	2	4	4	2	4	1	1	2	60	+MEDS	Favorable	Media
		Prevención de la disminución de pH en el suelo en condiciones anaerobias generando acidez	Suelo	1	8	8	4	4	1	2	4	4	2	2	63	+S	Favorable	Media

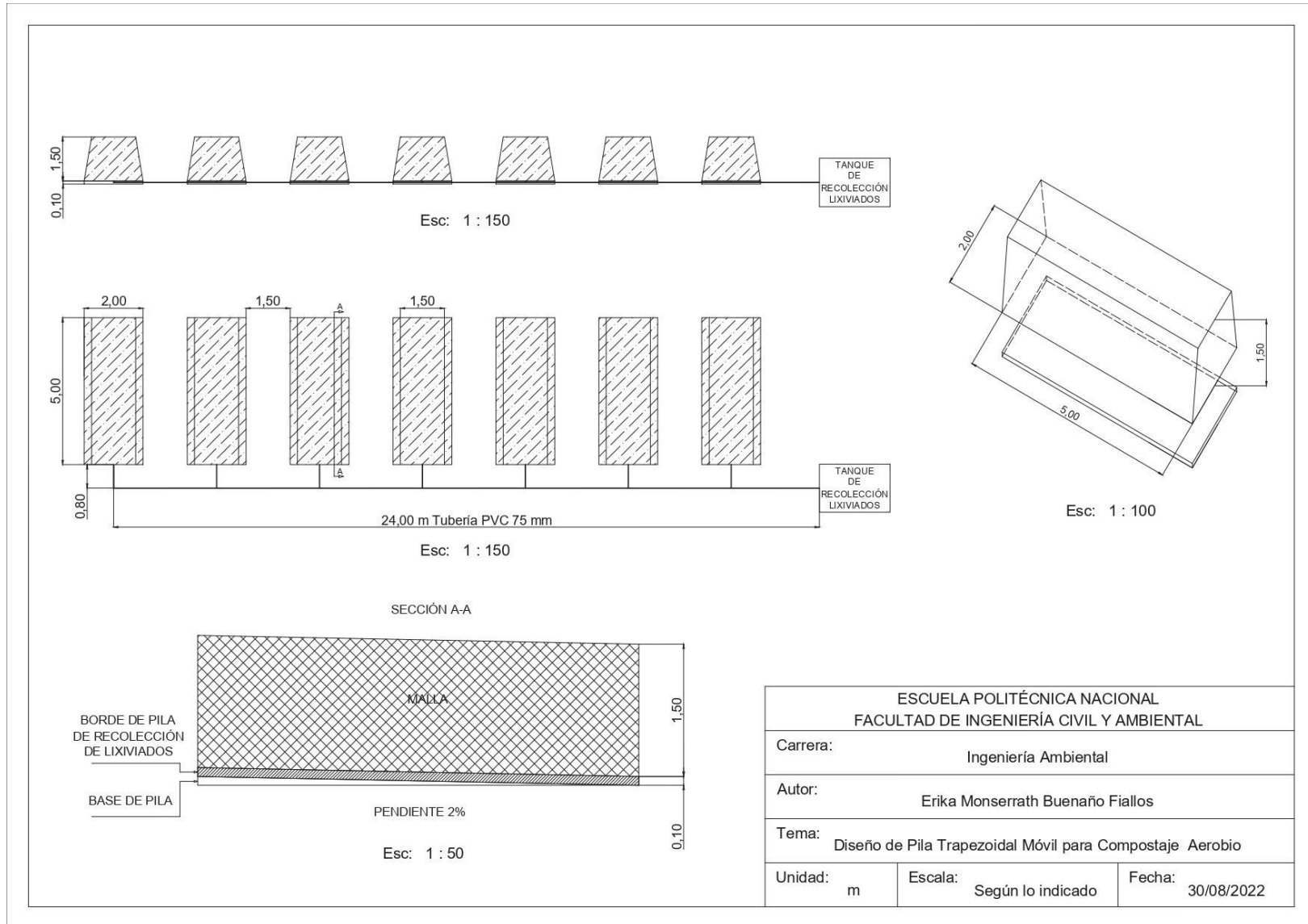
## ANEXO II: Diseño de pila Rectangular Móvil para Compostaje Aerobio



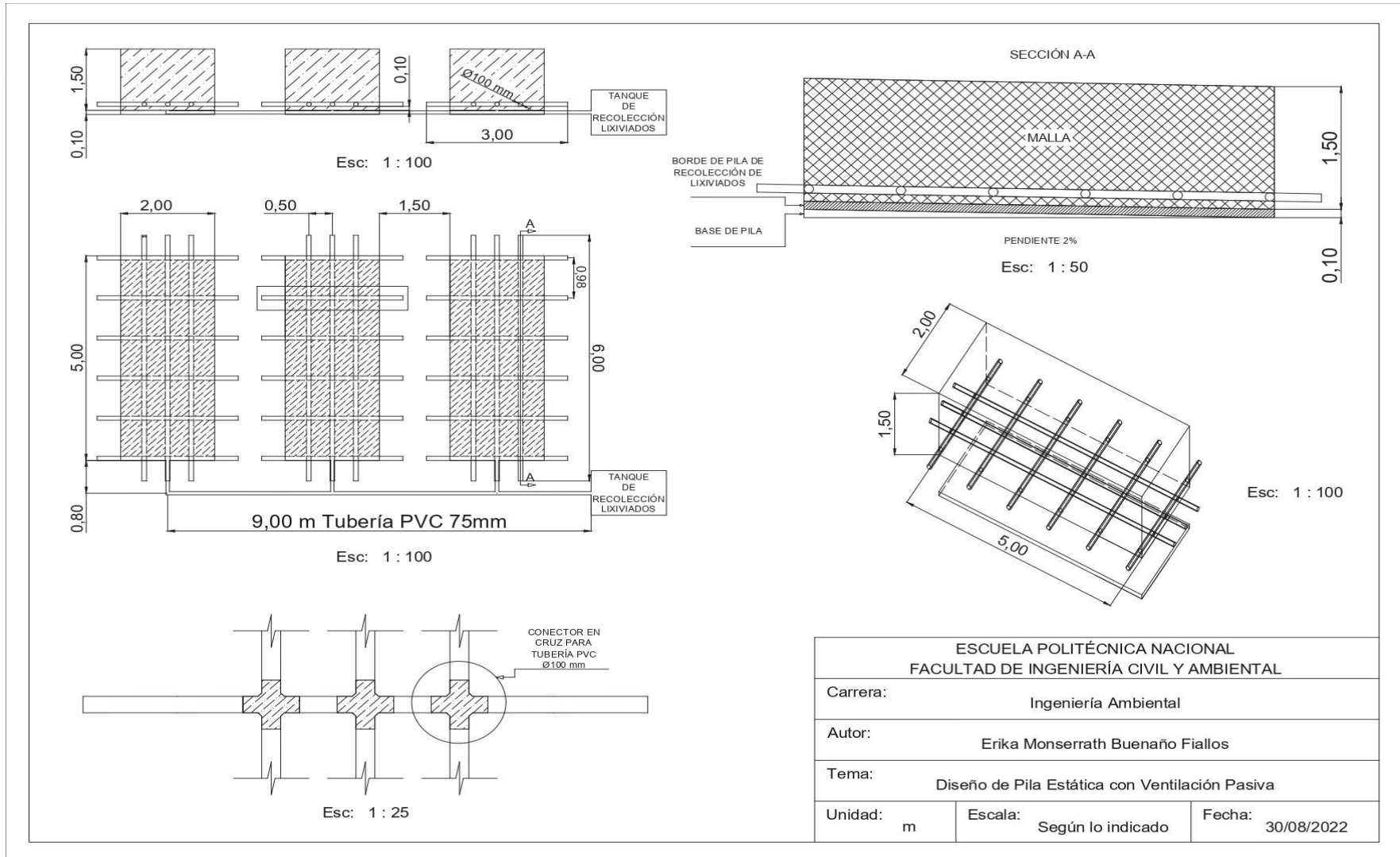
### ANEXO III: Diseño de Pila Triangular Móvil para Compostaje Aerobio



## ANEXO IV: Diseño de Pila Trapezoidal Móvil para Compostaje Aerobio



## ANEXO V: Diseño de Pila Estática con Ventilación Pasiva



<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL</b>		
Carrera: Ingeniería Ambiental		
Autor: Erika Monserrath Buenaño Fiallos		
Tema: Diseño de Pila Estática con Ventilación Pasiva		
Unidad: m	Escala: Según lo indicado	Fecha: 30/08/2022



## ANEXO VII: Diseño de Compostera Horizontal Aerobia

