**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TEMA**

# PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE CATERING DE LA EMPRESA PLUSAMBIENTE S.A


**AUTORES**

PANIMBOZA OJEDA ALEXANDRA PAOLA

SOTO CABRERA ANGY ISABEL

**DIRECTOR DEL PROYECTO/TRABAJO**

MSC. KAREL DIÉGUEZ SANTANA


**PASTAZA – ECUADOR**

**2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben: Panimboza Ojeda Alexandra Paola y Soto Cabrera Angy Isabel con C.I. 0922470257, 220012323-6 respectivamente, hacemos constar que somos los autores del Proyecto de Investigación titulado: "Propuesta de diseño de un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering de la empresa Plusambiente S.A", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Karel Diéguez Santana.

En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 4 días del mes de septiembre del 2020.





Panimboza Ojeda Alexandra Paola

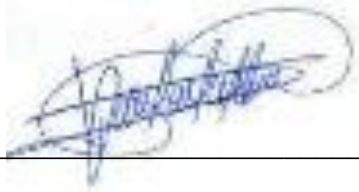
CI: 092247025-7

Soto Cabrera Angy Isabel

CI: 220012323-6

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación titulado: “Propuesta de diseño de un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering de la empresa Plusambiente S.A”



M.Sc. Jessy Paulina Guerrero Rubio

Presidente del Tribunal



M.Sc. Miguel Ángel Enríquez Estrella

Miembro del Tribunal



M.Sc. Santiago Nicolas Aguiar Novillo

Miembro del Tribunal

**CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO**

Quien suscribe el presente Msc: Karel Diéguez Santana con CI: 1756444129, certifica que el Proyecto de Investigación titulado: "Propuesta de diseño de un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering de la empresa Plusambiente S.A", ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 7%.

En el cantón Pastaza, a los 4 días del mes de septiembre del 2020.



_____

Msc: Karel Diéguez Santana

Director del Proyecto de Investigación

Oficio No. 290-SAU-UEA-2020

Puyo, 22 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El proyecto de investigación correspondiente a las egresadas PANIMBOZA OJEDA ALEXANDRA PAOLA con C.I. 0972470257 y SOTO CARRERA ANGY ISABEL con C.I. 2200122236, con el Tema: **"Diseño de una propuesta para la implementación del proceso de compostaje de residuos orgánicos de catering de la empresa Pincambiente S.A."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Ing. Karel Diepaez Santana, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 7%, Informe generado con fecha 6 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .**

## AGRADECIMIENTO

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la Virgen María, madre intercesora y a Dios, dador de vida y de dones, porque solo por su voluntad es que logré iniciar y llegar al culmen de esta investigación. De igual forma agradezco inmensamente a mis padres Soto Kleber y Cabrera Magdalena, a mis hermanos: Jenniffer, Steven y Deyver y demás familiares y amigos, pues con sus ánimos entre abrazos y palabras de aliento supieron motivarme para continuar durante todo el proceso de mi vida universitaria. Asimismo, agradezco a nuestro tutor el MSc. Diéguez Karel, si bien el trabajo es de nuestra autoría, fue el quien supo dar las pautas y correcciones pertinentes a lo largo de todo este proceso de titulación, su sabiduría y solidaridad de conocimiento fueron los pilares fundamentales para el desarrollo de este documento. Del mismo modo, mis más sinceros agradecimientos a Plusambiente S.A y a cada miembro de la empresa, ya que depositaron su confianza en nosotros brindándonos la información que en uno u otro caso se solicitaron. De la misma manera, mil gracias a la Pastoral Universitaria del Vicariato Apostólico de Puyo, su compañía moral y espiritual impulsó mi fe y mis ganas de continuar en este proceso. Y por último y no menos importante a mi amiga y compañera de tesis, Alexandra Panimboza, ya que el compartir este arduo pero fructífero trabajo hizo más llevaderos los días y noches de preocupación en cada dificultad que se presentó, no solo en la investigación sino en toda nuestra vida universitaria y que con la ayuda de Dios y de las personas adecuadas pudimos superar.

*Soto Cabrera Angy Isabel*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, él me ha bendecido durante toda mi vida y gracias a él ahora estoy por culminar lo que hace un tiempo inicie. Agradezco de todo corazón a mi madre y padre a la vez Genia Ojeda, por brindarme su apoyo incondicional durante todo este tiempo, así como también a mi hermana Alejandra, mis amigos y personas cercanas que desde el inicio confiaron en mí y me motivaron siempre. De igual forma, agradezco a nuestro tutor el MSc. Diéguez Karel, quien supo orientarnos de la mejor manera durante el desarrollo de esta investigación, por darnos todas sus enseñanzas, su tiempo y confianza. Asimismo, mis más sinceros agradecimientos a todo el personal de la empresa Plusambiente S.A., por abrirnos sus puertas y depositar su confianza en nosotras. Y por último, extiendo un grato agradecimiento a una gran amiga y compañera tesis, Angy Soto, por apoyo incondicional durante toda nuestra vida universitaria y sin duda por el haber formado este equipo de trabajo responsable, que a pesar de las dificultades nunca nos dimos por vencidas y con la ayuda de Dios siempre estuvimos firmes con nuestra decisiones y supimos enfrentar las adversidades con sabiduría.

*Panimboza Ojeda Alexandra Paola*

## *DEDICATORIA*

*Dedico el presente proyecto de grado sobre todo a Dios padre Santo, pues el depositó en mi la sabiduría e inteligencia necesaria para el desarrollo del mismo, me dio aliento y vida, pero por sobre todas las cosas porque vivo y actuó para él. De igual forma dedico este trabajo a mis padres, pues todo lo que soy y tengo ha sido por ellos, la educación se empieza desde casa y fueron ellos quienes forjaron en mi la responsabilidad y la habilidad para desarrollarme en el ámbito académico, moral y social. De igual forma, dedico este trabajo a mis hermanos, de tal manera que sea para ellos una inspiración y un motivo para involucrarse en trabajos de investigación, que vean el conocimiento como una herramienta valiosa y oportuna que abre muchas barreras aquí o al otro lado del mundo.*

***Soto Cabrera Angy Isabel***

## *DEDICATORIA*

*Sin duda alguna, se me pasan por la mente muchas personas que a lo largo de mi vida universitaria me brindaron su apoyo, me dieron consejos y estuvieron ahí alegrando mis días. Pero solo hay dos seres especiales, que puedo asegurar que están y estarán conmigo siempre.*

*Dios y Mamá.*

*Dios, por haberme dado la vida y permitiéndome haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional y personal. A mi madre, quien ha cumplido un excelente rol de padre y supo educarme desde niña, forjándome en mi muchos valores de los cuales estoy agradecida. Por esta razón, mi esfuerzo está dedicado a ellos.*

***Panimboza Ojeda Alexandra Paola***

# RESUMEN

En la actualidad el compostaje se ha convertido en una tecnología vital para reciclar los desechos biodegradables y generar un producto aprovechable a partir de los mismos. Por ello, el presente proyecto tuvo como propósito diseñar un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering en la empresa Plusambiente S.A. Se revisaron de documentos y analizaron los datos del proceso de compostaje de la empresa. Los resultados obtenidos demostraron que a partir de 40.013 toneladas de residuos de catering que recepta en 10 días la empresa Plusambiente S.A. se logra producir en 100 días 26888.49 kg de compost, el cual es tipificado en la clase B de acuerdo a la normativa técnica chilena (NCh 2880). Por otra parte, se demostró la viabilidad técnica y económica de la producción de compost teniendo un ingreso de $ 6,132 cada 100 días; es decir, los ingresos anuales por la expedición de compost serán de $ 22,381.8 al igual que tendrá una ganancia de $4,668.88 anuales. La implementación del sistema de compostaje en la empresa Plusambiente S.A. no solo es técnico y económicamente rentable, sino que, a su vez amigable con el medio ambiente, con una adecuada gestión se está evitando enviar residuos orgánicos de catering a vertederos o rellenos sanitarios sin un previo aprovechamiento.



**Palabras claves**: Compostaje, residuos orgánicos, empresa, estrategias, producción.

# ABSTRACT

Nowadays, composting has become a vital process for recycling biodegradable residues and generate a viable and usable product. Hence, the aim of this project is to design a composting system to take benefit from the organic waste of the catering company Plusambiente S.A. Documents were reviewed and data from the composting process of Plusambiente S.A. was analyzed. The results showed that from 40.013 tons of waste that the company receipts in 10 days, 26888.49 kg of compost were produced, which is typified as Class B according to the chilean technique normative (NCh 2880). In the other hand, the technical and economic viability of the compost production was proved with an income of $6,132 every 100 days. Therefore, the annual income of compost manufacturing would be of $22,381.8, meaning the profit is going to be of $4,668.88 annually. The implementation of the composting system in the Plusambiente S.A. company is not only practical and rentable, but it is also friendly with the environment. Lastly, with the proper management, Plusambiente S.A. company is avoiding sending its organic waste to landfills or without taking prior advantage of it.



**Keywords:** Composting, organic waste, company, strategies, production.

## TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I ..... 4

1. INTRODUCCIÓN ..... 4

1.1. Planteamiento del problema. ..... 5

1.2. Objetivos. ..... 6

1.2.1. General. ..... 6

1.2.2. Específicos. ..... 6

1.3. Justificación ..... 6

CAPÍTULO II ..... 8

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ..... 8

2.1. Materias primas ..... 8

2.1.1. Residuos orgánicos ..... 8

2.2. Proceso de compostaje ..... 8

2.2.1 Fases del compostaje ..... 9

2.2.2. Parámetros de control durante el compostaje ..... 11

2.3. Factores de afectan el compostaje ..... 12

2.3.1. Frecuencia de giro ..... 13

2.3.2. Temperatura ..... 13

2.3.3. Relación C/N ..... 14

2.3.4. Conductividad eléctrica ..... 15

2.3.5. Aireación ..... 16

2.3.6. Tamaño de partícula ..... 17

CAPÍTULO III ..... 18

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. ..... 18

3.1. Localización ..... 18

3.2. Tipo de investigación ..... 19

3.2.1. Investigación descriptiva ..... 19

3.2.2. Investigación Documental ..... 19

3.3. Métodos de investigación. ..... 19

3.3.1. Método deductivo ..... 19
3.3.2 Método analítico ..... 20
3.3.3. Cuantificación de los residuos de catering ..... 20
3.3.4. Implementación de pilas de compostaje a partir de los residuos orgánicos con mezclas de agentes de carga. ..... 22
3.3.5. Diseño experimental y procesamiento de datos ..... 25
3.3.6. Diseño del sistema de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos de catering ..... 26
3.3.7. Viabilidad técnica-económica del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. ..... 30
CAPITULO IV ..... 34
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 34
4.1. Cuantificación y caracterización de los residuos de catering y agentes de carga 34
4.1.1. Cantidad de residuos de catering receptados en las instalaciones de la empresa Plusambiente S.A. ..... 34
4.1.2. Caracterización físico química de los desechos compostados ..... 36
4.2. Diseño del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en Plusambiente S.A. ..... 37
4.2.1. Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH de las pilas ..... 37
4.2.2 Dimensionamiento del sistema de compostaje ..... 51
4.3. Viabilidad técnica-económica del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en Plusambiente S.A. ..... 57
4.3.1. Costos ..... 57
4.3.2. Ingresos ..... 58
4.3.3. Relación beneficio-costo ..... 58
4.3.4. Indicadores dinámicos ..... 58
5. CONCLUSIONES ..... 61
6. RECOMENDACIONES ..... 62
7. REFERENCIAS ..... 63
8. ANEXOS ..... 73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros fundamentales en el proceso de compostaje y rango de características óptimas de las mezclas que se han de compostar ..... 11
Tabla 2 Coordenadas WGS 84 UTM del área de estudio. ..... 18
Tabla 3 Niveles mínimos y máximos de las variables seleccionadas para el diseño experimental. ..... 24
Tabla 4 Número de muestras para el experimento. ..... 26
Tabla 5 Control de los residuos de catering receptados en la empresa Plusambiente S.A. ..... 34
Tabla 6 Propiedades físico químicas de los desechos compostados. ..... 36
Tabla 7 Resumen del comportamiento de las temperaturas en los tratamientos. ..... 38
Tabla 8 Parámetros físicos y químicos del compost final. ..... 40
Tabla 9 Normativas técnicas vigentes para determinar la calidad del compost. ..... 41
Tabla 10 Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físico-químicos del compost final. ..... 45
Tabla 11 Parámetros de partida para el sistema de compostaje. ..... 51
Tabla 12 Parámetros y criterios para el dimensionamiento de las áreas del sistema de compostaje. ..... 51
Tabla 13 Solución de agua, melaza y levadura para una pila de compost de 4.795 t. ..... 53
Tabla 14 Composición en masa y volumen por unidad pila y totalidad del sistema de compost. ..... 53
Tabla 15 Dimensionamiento de la propuesta del sistema de compostaje. ..... 54
Tabla 16 Costos en dólares asociados al sistema de compostaje ..... 57
Tabla 17 Parámetros de partida para evaluación económica ..... 58
Tabla 18 VAN estimado en base a diferentes tasas de descuento ..... 59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Instalaciones de la empresa Plusambiente S.A. ..... 18
Figura 2. Dimensionamiento de las pilas de compost. ..... 24
Figura 3 Caracterización de los residuos de catering receptados en Plusambiente S.A. ..... 36
Figura 4. Comportamiento del pH en los tratamientos vs los días del proceso. ..... 39
Figura 5. Comportamiento de la conductividad en los tratamientos vs los días del ..... 40
Figura 6. Comportamiento de la relación C/N inicial vs final de los 13 tratamientos de compost. ..... 42

Figura 7. Relación C/N en los diferentes tratamientos a los 100 días. 43
Figura 8. Comportamiento del Nitrógeno total de los tratamientos. 44
Figura 9. Concentración de fósforo en los diferentes tratamientos. 45
Figura 10 Comportamiento de la relación C/N en función de las cantidades de los RC y de FPA. 48
Figura 11 Comportamiento del nitrógeno en función de las cantidades de los RC y de FPA . 49
Figura 12 Comportamiento del potasio en función de las cantidades de los RC y de FPA. 50
Figura 13 Comportamiento del fósforo en función de las cantidades de los RC y de FPA. 50
Figura 14. Diagrama de flujo del proceso productivo para la generación de compost en Plusambiente S.A 56

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1Volumen de un cilindro. 20
Ecuación 2 Densidad. 21
Ecuación 3 Porcentaje en peso del material 21
Ecuación 4 Relación Carbono: Nitrógeno 22
Ecuación 5 Número de experimentos a realizarse en base a DCC del diseño RSM 25
Ecuación 6 Fórmula para determinar el área para la recepción y selección previa de los residuos orgánicos a compostar. 27
Ecuación 7 Fórmula para determinar el volumen de la pila para degradación. 28
Ecuación 8 Fórmula para determinar la longitud de pilas triangulares. 28
Ecuación 9 Fórmula para determinar el número de pilas a montar 28
Ecuación 10 Fórmula para determinar el área transversal de la pila. 29
Ecuación 11 Fórmula para determinar el área de cribado. 30
Ecuación 12 Fórmula para determinar el área de almacenamiento. 30
Ecuación 13 Capital de Inversión Inicial 31
Ecuación 14 Fórmula para estimar la ganancia neta 32
Ecuación 15 Relación beneficio-costo 32
Ecuación 16 Fórmula para determinar el valor actual neto (VAN). 32
Ecuación 17 Fórmula para determinar el tiempo de recuperación de la inversión (TIR). 33
Ecuación 18 Fórmula para determinar el período de recuperación de inversión. 33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A ..... 73
Anexo B..... 74
Anexo C..... 76
Anexo D ..... 77

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017) menciona que la población mundial actual de 7.600 millones de personas alcanzarán los 8.600 millones para el año 2030. Además, llegará a 9.800 millones para 2050 y a 11.200 para 2100. Esta demanda poblacional ha hecho que entre muchos otros sectores, el sector de servicios alimenticios conjuntamente con el turismo aumente; por ende las cantidades de residuos de comida, entre ellos, los de catering (Silvennoinen *et al.*, 2019). Estos se generan a través de servicios de catering (comerciales), y representan alrededor del 30% de la comida total servida (Tayyab *et al.*, 2019).

Por consiguiente, los residuos de catering consisten principalmente en desechos orgánicos, los cuales no son solo ricos en aminoácidos, sino que también contienen una variedad de vitaminas y nutrientes (Ayomoh *et al.*, 2008). Sin embargo, cada año mundialmente 33 millones de toneladas de residuos alimenticios son depositados en vertederos (Tayyab *et al.*, 2019).

De acuerdo a Seng *et al.*, (2013) en estos lugares la disposición se realiza sin cobertura de suelo o muchas veces la misma es irregular, además de no poseer un sistema de tratamiento de lixiviados e instalaciones de captura de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual ocasiona riesgos para la salud y el medio ambiente, tales como trasmisión de enfermedades, emisión de GEI, contaminación del suelo y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Del mismo modo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) estimó que aproximadamente 3.3 gigatoneladas (Gt) de $CO_2$ equivalentes de GEI son generados por la degradación de estos desperdicios de alimentos, lo cual llega a costar alrededor de 750 mil millones de dólares.

Por otro lado, en América latina y el Caribe la fracción de residuos orgánicos representa un 50%, los cuales no tienen una gestión adecuada sobre ellos y se disponen en rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto (ONU, 2018). De esta forma, en Ecuador no existe una excepción ya que más del 90% de los municipios recolectan los residuos en forma mezclada por lo que no existe una optimización adecuada o aprovechamiento previo a su disposición final (El Universo, 2009). Pese a que actualmente la generación de residuos en el país es de 4.06 millones de toneladas métricas al año y una generación per cápita de 0.74 kg, de los cuales el 58% son orgánicos (MAE, 2016).

Teniendo en cuenta las consecuencias sociales, económicas y costos ambientales, los residuos orgánicos, específicamente lo resultantes de las actividades de catering representan una oportunidad como recursos valiosos para diseñar productos que puedan ser reutilizados luego de su primer uso, constituirse en materias primas secundarias o convertirse en fuentes de energía alternativa (ONU, 2018). Tal es el caso de Tayyab *et al*., (2019), donde se menciona que los residuos de catering pueden ser tratados mediante digestión anaeróbica (DA) con la degradación biológica de los productos orgánicos en ausencia de oxígeno, da como resultado dos productos, biogás y digestato, siendo una de las mayores oportunidades para la producción de combustibles renovables. Por otro lado, en Europa predomina el compostaje sobre la digestión anaeróbica para la corriente de residuos biológicos, lo que resulta en más del 90% de los alimentos y desechos verdes procesados en compost. Como todos los procesos de reciclaje, para fabricar productos compostados de calidad, las materias primas deben ser suficientes calidad, es decir, libre de contaminantes mínimos o que los contenga (Fieschi & Pretato, 2017).

Por consiguiente, Plusambiente S.A, al ser una empresa gestora de residuos sólidos y líquidos peligrosos brinda el manejo transporte y tratamiento de los mismos, lo cual contribuye a mitigar, minimizar y prevenir los impactos ambientales representativos hacia el ambiente, busca así una forma de revalorizar los residuos orgánicos de catering que receptan en sus instalaciones, producto de plataformas y servicios de catering de sus clientes, de tal forma, esta investigación busca evaluar la viabilidad técnica y económica de una propuesta para la implementación del proceso de compostaje de residuos orgánicos de catering de la empresa para garantizar un manejo integral y sostenible de los mismos.

### 1.1. Planteamiento del problema.

Anualmente se estima que alrededor de 1.300 millones de toneladas o un tercio de los alimentos producidos en todo el mundo nunca se consumen y terminan como residuos (FAO, 2015). De acuerdo con Thamagasorn y Pharino (2019) la mayoría de los desechos generados por la operación de catering generan preocupaciones ambientales, pues su descomposición libera gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono ($CO_2$) y metano ($CH_4$) a la atmósfera, y presentan un potencial de calentamiento global estimado (GWP) de alrededor de 227 millones de toneladas de $CO_2$ equivalente (Fieschi & Pretato, 2017). Por otra parte, el desperdicio de alimentos plantea un importante problema de sostenibilidad, no solo porque se pierde un valioso contenido calórico, sino también por el agotamiento de la fertilidad del suelo, la pérdida de tierra, agua y energía requerida en la producción de alimentos y el aumento global anual del costo de la gestión de residuos sólidos (Thamagasorn & Pharino, 2019).

De tal forma, en las instalaciones de Plusambiente S.A., no existe un sistema de gestión de residuos orgánicos provenientes del servicio de catering que permite darle un valor agregado a los mismos, por lo que se le ha dado una disposición final adecuada, pero sin un previo aprovechamiento alguno. Por ello resulta importante diseñar una propuesta para la implementación del proceso de compostaje a partir de los residuos de catering.

¿De qué manera se puede optimizar los residuos orgánicos de catering receptados en las instalaciones de Plusambiente S.A. para finales del 2020?

## 1.2. Objetivos.

### 1.2.1. General.

Diseñar una propuesta de un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering de la empresa PLUSAMBIENTE S.A.

### 1.2.2. Específicos.

- Cuantificar y caracterizar los residuos orgánicos de catering receptados en las instalaciones de PLUSAMBIENTE S.A, mediante el análisis de los registros históricos de la empresa.
- Evaluar diferentes pilas de los residuos orgánicos de catering receptados en las instalaciones de PLUSAMBIENTE S.A con mezclas de agentes de carga disponibles en la zona, que permitan obtener la mejor calidad del compost en contenidos de nutrientes y madurez.
- Diseñar un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en PLUSAMBIENTE S.A y evaluar la viabilidad técnica, económica del proyecto.

## 1.3. Justificación

La optimización de los residuos orgánicos derivados de las actividades de catering tiene relevancia social, ambiental y económica, de tal forma su aprovechamiento permite darle una solución al aumento progresivo de este tipo de residuos dado por el crecimiento demográfico, ya que estos se revalorizan al ser usados como fuente de materia prima para generar un producto. De esta forma, se evitar que estos mismos sean dispuestos de manera permanente en vertederos; por consiguiente, se mitiga la transmisión de enfermedades, la emisión de olores, la propagación de vectores, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas ocasionada por la infiltración de lixiviados.

De igual forma, al diseñar una propuesta de un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering de la empresa PLUSAMBIENTE S.A. se beneficia

directamente a la compañía en cuestión, puesto que, en el caso de implementar la propuesta, le permite a la misma aumentar la vida útil de los espacios destinados para la disposición final de los residuos de catering, además de generar un producto capaz de ser economizado, al ser expedido a las comunidades aledañas a la zona, de igual forma el uso de residuos de catering permite optimizar el uso de esta materia prima.

Por consiguiente, aprovechar los residuos de catering para generar compost es relevante ya que, este producto no solo ahorra pérdidas económicas, sino que contribuye a salvaguardar la salud ambiental y humana, pues al utilizarse el producto final sobre los cultivos, como menciona Koivula *et al*., (2004), aumenta la materia orgánica en el suelo, mejora el rendimiento de nutrientes de las plantas, y modifica las características fisicoquímicas y biológicas del suelo.

# CAPÍTULO II

# 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## 2.1. Materias primas

Una materia prima es aquel material directo que cuenta como el primer elemento del costo, lo que la materia primera se encuentra en estado virgen (Robles, 2012). De igual forma, esta proviene de los recursos naturales que forman parte del medio ambiente (Loayza & Silva, 2013).

### 2.1.1. Residuos orgánicos

Son todos aquellos residuos que se consideran fundamentalmente biológicos (la materia orgánica representa del 95 al 99 % del total de la materia seca de los seres vivos) y participan mayoritariamente en su composición sustancias orgánicas (con elevada presencia de C, H y O, y en menor medida N, P y S, así como otros elementos en menor concentración). En general, se pueden considerar como materiales orgánicos aquellos procedentes de actividades como la agricultura, ganadería, mataderos, residuos forestales, domésticos, lodos de depuradoras de aguas residuales, englobando también a los originados en las industrias agroalimentarias y afines (Pedreño *et al*., 1995).

#### *2.1.1.1 Residuos de catering*

Los residuos de catering consisten principalmente en desechos vegetales, frutas, carne y demás subproductos animales, los cuales no son solo ricos en aminoácidos, sino que, también contienen una variedad de vitaminas y nutrientes (Ayomoh *et al.*, 2008). Por otro lado, el término catering o "servicio de comida" vine definido por la provisión de alimentos y bebidas fuera de casa (Fusi *et al.*, 2016).

## 2.2. Proceso de compostaje

De acuerdo a González (2011), el compostaje es un proceso dinámico dado por las actividades combinadas de una gran cantidad de bacterias y hongos, que se encuentran ligados a una variedad de ambientes con condiciones cambiantes. En otras palabras, el compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad, temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45ºC), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato (Negro *et al.*, 2014). Asimismo, el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2016) define el termino compostaje como un proceso de biooxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de

maduración mínima y posteriormente se convierte en un recurso orgánico estable y seguro para ser utilizado en la agricultura. No obstante, no todos los materiales que han pasado por un proceso anaeróbico son considerados compost. El proceso de compostaje requiere de diferentes etapas o fases que deben cumplirse para obtener un compost de calidad. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO,2013) menciona que la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede conducir a riesgos como:

- **Fitotoxicidad.** Esto sucede cuando un material que no ha culminado correctamente el proceso de compostaje (compost inmaduro), debido a que el nitrógeno se encuentra como amonio en lugar de nitrato, el amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el desarrollo de las plantas y genera malos olores (FAO, 2013). Por ello, la madurez del compost se asocia comúnmente con el crecimiento de las plantas o la fitotoxicidad (Cerda *et al.*, 2018).
- **Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como "hambre de nitrógeno".** Ocurre cuando hay una inadecuada relación Carbono: Nitrógeno; es decir, el compost cuenta con mayor cantidad de carbono que de nitrógeno**.** Por ello, al ser aplicado en el suelo los microorganismos consumen el carbono presente y rápidamente se incrementa el consumo de nitrógeno en el suelo (FAO, 2013).
- **Reducción de oxígeno radicular.** La aplicación de un compost inestable e inmaduro al suelo puede dificultar la fijación de nitrógeno, liberar sustancias tóxicas y restringir el crecimiento de las plantas, compitiendo por el oxígeno en el suelo (Rastogi, Nandal, & Khosla, 2020).
- **Exceso de amonio y nitratos en plantas y contaminación de fuentes de agua.** La lixiviación de nitrato durante el proceso de compostaje puede provocar eutrofización o floración de algas, debido al alto potencial contaminante de algunos lixiviados de compost. Asimismo, los lixiviados pueden retener los microorganismos que pueden usarse para importantes procesos de remediación ambiental (Chukwudi *et al.*, 2016).

### 2.2.1 Fases del compostaje

El proceso de compostaje presenta 4 fases desde el inicio de implementación de la pila de compost hasta obtener un abono maduro, las cuales se mencionan a continuación:

**1. Fase mesofílica:** La primera etapa de compostaje inicia a temperatura ambiente; sin embargo , en pocos días e incluso horas la temperatura aumenta hasta los 45°C (FAO,2013). Este aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana, según Nozhevnikova *et al.*,(2019) esta fase es realizada por bacterias y hongos mesofílicos, que son reemplazados por termófilos a medida que aumenta la temperatura en el compost. Debido al proceso de nitrificación el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5) por otra parte, se estima que el tiempo de durabilidad de esta fase está entre dos a ocho días (Chukwudi *et al.*, 2016).

**2. Fase termofílica o de higienización:** De acuerdo con Paradelo (como se citó en (Chukwudi *et al*., 2016) la fase termófila es indicativa de la descomposición y estabilización del contenido inicial de la materia orgánica , cuya temperatura óptima es de los 40-65 °C. Cuando las temperaturas son mayores a los 45°C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina; de modo que estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube (FAO, 2013). Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas del lugar, y otros factores. Aunque Chan *et al.*, (2016) señalan que la fase termofílica debería durar una semana para la eliminación completa de patógenos como *Eschericha coli* y *Salmonella spp*.

**3. Fase de enfriamiento:** De acuerdo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) menciona que una vez agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C ; de modo que al bajar de 40 ºC, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente, aunque en general el pH se mantiene alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa y lignina debido a la presencia de bacteria y hongos (*Aspergilus y Mucor*) (Álvarez de la Puente, 2010).

**4. Fase de maduración**: Es un período que requiere de 1 a 2 meses en promedio a temperatura ambiente, durante esta etapa se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados (humus), así como también desciende el consumo de oxígeno (Sepúlveda & Alvarado, 2013).

### 2.2.2. Parámetros de control durante el compostaje

La tabla 1 muestra los principales parámetros a controlar durante el proceso de compostaje.

Tabla 1 *Parámetros fundamentales en el proceso de compostaje y rango de características óptimas de las mezclas que se han de compostar*

| Variable | Porcentaje | Problema | | Soluciones |
|---|---|---|---|---|
| Oxígeno | <5% | Baja aireación | Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. | Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación. |
| | 5% - 15% Rango ideal | | | |
| | >15% | Exceso de aireación | Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. | Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua. |
| Humedad | <45% | Humedad insuficiente | Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos | Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua. |
| | 45% - 60% Rango ideal | | | |
| | >60% | Oxígeno insuficiente | Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis. | Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono. |
| Variable | | Causas asociadas | | Soluciones |
| Temperatura | Bajas temperaturas | Humedad insuficiente | | Humedecer el material o añadir material fresco con mayor |

| | | | |
|---|---|---|---|
| (°C) | (T°. ambiente < 35°C) | | porcentaje de humedad |
| | | Material insuficiente | Añadir más material a la pila de compostaje. |
| | | Déficit de nitrógeno o baja C/N. | Añadir material con alto contenido en nitrógeno. |
| | Altas temperaturas (T ambiente >70°C) | Ventilación y humedad insuficiente | Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación. |
| | <4,5 | Exceso de ácidos orgánicos | Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C/N |
| pH | | 4,5 – 8,5 Rango ideal | |
| | >8,5 | Exceso de nitrógeno | Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono |
| | >30cm | Exceso de aireación | Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm. |
| Tamaño de partículas (cm) | | 5 – 30 cm Rango ideal | |
| | <5cm | Compactación | Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar. |

**Fuente:** (FAO, 2013).

### 2.3. Factores de afectan el compostaje

De acuerdo con Juárez (como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016) menciona que la efectividad del proceso de compostaje está influenciada por factores como la temperatura , el suministro de oxígeno , el contenido de humedad , el pH , la relación C/N el tamaño de partícula y el grado de compactación. De igual forma, Rastogi *et al.*, (2020) menciona en términos más amplios,

que el compostaje se ve afectado por los factores, clasificados en dos grupos, (i) dependiendo de la formulación de la mezcla de compostaje, como el equilibrio de nutrientes, pH, tamaño de partícula, porosidad y humedad; y (ii) dependiendo de la gestión del proceso, como la concentración de $O_2$, la temperatura, el contenido de agua y la compactación.

### 2.3.1. Frecuencia de giro

De acuerdo con Parkinson *et al.,* (2004) menciona que el procedimiento más común para la aireación es a través del volteo del material de compostaje , ya que permite que el material esté disponible para la utilización microbiana, por lo tanto , produce emisiones de gases. Por otra parte Chukwudi *et al.,* (2016) mencionan que la aireación mejorada en las primeras etapas de la degradación de la materia orgánica da como resultado el acortamiento de la duración de la estabilización de los desechos, sin embargo, la aireación o el volteo excesivos podrían provocar la pérdida de componentes vitales del compostaje. A su vez, Ogunwande *et al.*, (2008) establece que existe un fuerte vínculo entre la frecuencia de giro y algunas variables fisicoquímicas que podrían usarse como indicadores de la madurez del compost , por ejemplo la frecuencia de giro afecta el nitrógeno total, el pH, el contenido de humedad, la relación C/N, la materia seca, el carbono total y la temperatura de las pilas de compostaje. Con respecto a la frecuencia de giros cada autor dispone diferentes opiniones; sin embargo, los regímenes de rotación varian. No obstante Chukwudi *et al.*, (2016) menciona que los regímenes de giro de tres días y semanal conducen a un aumento significativo en las poblaciones de bacterias aeróbicas en las pilas de compost , mientras que realizar un giro diario a las pilas de compost no aumentan significativamente la población bacteriana.

### 2.3.2. Temperatura

La temperatura en cada etapa del proceso de compostaje , explora el papel de las asociaciones microbianas en la biodegradación y desintoxicación de los componentes de los desechos orgánicos (Nozhevnikova *et al.*, 2019) . Por ello , la temperatura es uno de los principales parámetros para monitorear el proceso de compostaje , asimismo la temperatura también es una función del proceso según lo establecido por Turán (como se citó en Awasthi *et al*., 2016). Según Kulikowska (2016) el compostaje es un proceso exotérmico que depende de la temperatura inicial y la biodegradación de los sustratos. Raut (como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016) acordó que la temperatura durante el compostaje podría aumentar como resultado de la biodegradación acelerada de la materia orgánica por microorganismos. No obstante, la eficiencia del proceso de compostaje disminuye a medida que aumenta la temperatura. La temperatura es un factor de sumamente importancia para determinar la ventaja relativa de una

población microbiana sobre otra , esto se debe al efecto de la temperatura sobre las características fisicoquímicas del compost y la posterior biodisponibilidad del sustrato a los microorganismos del compostaje (Chen *et al.,* 2015). Por otra parte , Sundberg *et al.,* (2004) señalan que la fase activa del compostaje está denominada por bacterias.

El compostaje a temperaturas superiores a 55°C favorece la eliminación de parásitos , patógenos y garantiza condiciones sanitarias máximas, cuando la fase termófila dura más de tres días , el compost estará libre de semillas de malezas y patógenos dando como resultado el cumplimiento de los requisitos de saneamiento (Ravindran & Sekaran, 2010). Aunque Chan *et al.,* (2016) señalan que la fase termofílica debería durar una semana para la eliminación completa de patógenos; sin embargo , los regímenes de tiempo y temperatura requeridos para la eliminación de bacterias coliformes, *Escherichia coli* y otros patógenos varían. Se considera que las temperaturas entre 52 y 60° C mantienen la mayor actividad termofílica en los sistemas de compostaje , por otra parte esta fase es indica el grado de descomposición y estabilización del contenido inicial de materia orgánica  Awasthi et al., 2016). Sin embargo, de acuerdo con Imbeah y Huang (como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016) se debe tener cuidado de que las temperaturas no se eleven demasiado es decir, más de 71 ° C ya que el calor excesivo puede destruir las poblaciones microbianas termofílicas . Además, Sudharsan & Kalamdhad (2014) explican que temperaturas superiores a 65 ° C podrían inactivar hongos, actinomicetos, y la mayoría de las bacterias que son esenciales en la degradación durante las etapas termofílicas; esto permite que solo se desarrollen bacterias formadoras de esporas. De acuerdo con Chen (como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016) mencionan que el calor excesivo durante el compostaje podría ocasionar un peligro de incendio.

### 2.3.3. Relación C/N

Durante el proceso de compostaje, los microbios descomponen los compuestos orgánicos para así obtener energía para el metabolismo y adquirir nutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para mantener a sus poblaciones (Chukwudi *et al.,* 2016) . Los principales nutrientes que necesitan los microorganismos involucrados en el compostaje son el carbono (C), nitrógeno(N), fósforo (P) y potasio (K); sin embargo, el C y N son los elementos más esenciales. El carbono  se usa como fuente de energía mientras que el Nitrógeno se usa para construir la estructura celular, según Igoni *et al*., (2008) afirman que cuando la cantidad de nitrógeno es limitante, el crecimiento microbiano disminuye y, por lo tanto, resulta en una descomposición lenta del carbono disponible , por otra parte mencionan que si la cantidad de

nitrógeno presente está más allá del requisito de la población microbiana, el exceso de nitrógeno se volatiliza como amoníaco (gas).

La relación C/N se considera como un indicador del grado de descomposición de una materia orgánica. De acuerdo con Yang *et al.,* (2015) mencionan que la relación C/N disminuye durante el compostaje. Asimismo , afirman que la disminución en la relación C/N ocurre porque la tasa de mineralización de nitrógeno orgánico es menor que la de carbono. Según Huang (como se citó en Chukwudi *et al.*,2016) menciona que el ajuste de las materias primas para dar una relación C/N de 25–30: 1 es fundamental para el compostaje activo , aunque la relación C/N inicial de 20–40: 1 ha dado regularmente un buen rendimiento de compostaje; no obstante, Petric (como se citó en Chukwudi *et al.*,2016) menciona que los valores iniciales de C/N entre 25 y 40 e incluso hasta 50 son valores recomendables para el compostaje. Las relaciones C/N implican que los microorganismos usan el carbono disponible 30-35 veces más rápido que la velocidad a la que convierten el nitrógeno, una relación C/N más baja indica que el nitrógeno estará disponible en exceso y se perdería como gas de amoníaco, con el olor indeseable resultante, de igual forma relación C/N más baja libera una gran cantidad de sal básica soluble, lo que hace que el suelo sea desfavorable para el crecimiento de las plantas (Chukwudi *et al.*,2016).

### 2.3.4. Conductividad eléctrica

Johnson *et al.,* (2005) define que la conductividad eléctrica (CE) como una expresión numérica de conducción de corriente eléctrica por una solución acuosa. La CE refleja la salinidad de una enmienda orgánica (Lazcano et al., 2008a). Durante el proceso de compostaje, la concentración de sales aumenta inevitablemente debido a la descomposición de la materia orgánica compleja (Chan *et al.,* 2016). Por ello , la CE indica el contenido total de sales del compost que refleja la calidad del mismo, el cual se utilizará como fertilizante (Chukwudi *et al.,* 2016). De acuerdo con Huang (como se citó en Chukwudi *et al.,* 2016) menciona que durante el proceso de compostaje la CE podría aumentar debido a la formación de sales minerales como iones de amonio y fosfatos a través de la transformación de materia orgánica , por otra parte la volatilización del amoníaco y la precipitación de sales minerales a su vez conducen a la disminución de la CE.

Para contribuir con el crecimiento de las plantas, el valor de CE del compost maduro debe ser muy bajo, Chukwudi *et al.,* (2016) adopta 4 ms cm $^{-1}$ como límite para el valor de CE para el compost que se aplicará al suelo; sin embargo , Mohee *et al.,* (2015) establece que el rango

óptimo de la CE debe ser <3.5 dS/m. Por otro lado, Juárez (como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016), establece un nivel máximo de CE de 3 ms $cm^{-1}$ como criterio a cumplir antes de que el compost se use para la enmienda orgánica del suelo. El compost con alto valor CE causará un efecto negativo en el crecimiento de la planta, es por ello que debe mezclarse bien con el suelo u otros materiales con bajos valores de CE antes de que pueda usarse debido a que la salinidad podría tener impacto negativo en la germinación de las semillas o el crecimiento de las plantas (Muker Kumar Awasthi et al., 2016).

### 2.3.5. Aireación

La aireación es un factor importante que influye en el proceso de compostaje , el cual se considera un proceso aeróbico , que consume oxígeno($O_2$) y libera agua ($H_2O$) y Dióxido de carbono ($CO_2$) (Chukwudi *et al.*, 2016). La eficiencia del proceso de compostaje se ve fuertemente afectada por el nivel de $O_2$ , porque el proceso de compostaje está directamente asociado con la dinámica de la población microbiana (Nakasaki *et al.*, 2016). La tasa de aireación afecta la calidad del compost y la actividad microbiana en el proceso de compostaje ; no obstante , la aireación ayuda a mantener la temperatura del compost para la descomposición termófila de los desechos orgánicos (Muker Kumar Awasthi et al., 2016). El efecto de la velocidad del flujo de aire sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica, la distribución de la temperatura y otros parámetros en la masa de compostaje depende en gran medida del tiempo, la condición ambiental y la ubicación dentro de la masa de compostaje (Bari & Koeing, 2012).

De acuerdo con Petric y Selimbasic ( como se citaron Chukwudi *et al.*, (2016), la aireación proporciona suficiente $O_2$ necesario para la oxidación del material orgánico y evapora el exceso de humedad del sustrato, por lo tanto la aireación es el factor principal que influye en la estabilidad del compost. Según Gao ( como se citó en Chukwudi *et al.*, 2016) menciona que muy poca aireación puede conducir a condiciones anaeróbicas, y también una aireación excesiva puede provocar un enfriamiento excesivo, evitando así las condiciones termofílicas requeridas para tasas óptimas de descomposición. Por ello , el exceso de aireación generalmente resulta en una tasa de evaporación más alta y un secado más rápido del compost y enfriamiento de compost grande. Por otro lado , la aireación natural se ha utilizado con éxito en el compostaje, Oudart (como se citó Chukwudi *et al.*, 2016) establece que el uso de pilas estáticas en el compostaje de excretas de animales bajo aireación natural es un proceso rentable y menos intensivo en energía que la aireación forzada.

### 2.3.6. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula en la masa de compost asegura el nivel de porosidad, para así garantizar una aireación adecuada y regular el intercambio de gas y agua. De acuerdo con Wang (como se citó en Rastogi *et al.*, 2020) menciona que un tamaño y forma de partícula apropiados es un factor importante para estimar los costos operativos , de igual forma menciona al tamizado como método fundamental para determinar la distribución óptima del tamaño de partícula en una masa de compost. Aunque, se puede lograr un tamaño de partícula triturando y troceando los desechos en pedazos más pequeños ya que este procedimiento asegura un área de superficie más disponible para una mejor actividad microbiana durante el compostaje, lo que da como resultado en una degradación rápida (Rastogi, Nandal, & Khosla, 2020).

# CAPÍTULO III

## 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

### 3.1. Localización.

El área de estudio se encuentra localizada en las instalaciones de Plusambiente S.A, empresa ubicada en la vía Huataraco, parroquia San Sebastián del Coca, en el cantón la Joya de los Sachas provincia de Orellana.

En la figura 1 se puede observar el área delimitada de la empresa, al igual que en la tabla 2 se presentan las coordenadas asociadas a la misma.




*Figura 1* Instalaciones de la empresa Plusambiente S.A.

**Fuente:** Google Maps.

Tabla 2 *Coordenadas WGS 84 UTM del área de estudio.*

| PUNTO | COORDENADAS EN X | COORDENADAS EN Y |
|---|---|---|
| P1 | 277187 | 9964341 |
| P2 | 277277 | 9964405 |
| P3 | 277436 | 9964249 |
| P4 | 277422 | 9963958 |
| P5 | 277276 | 9963930 |
| P6 | 277181 | 9964197 |
| P7 | 277187 | 9964341 |

**Fuente:** Sistema Nacional de Información (2020).

### 3.2. Tipo de investigación.

#### 3.2.1. Investigación descriptiva

La presente investigación es de tipo descriptiva con un diseño específico simple, puesto que consiste en la caracterización de la concepción y el conocimiento que tiene la empresa Plusambiente S.A en relación con la implementación de un proceso de compostaje a partir de los residuos orgánicos de catering. De tal modo que este tipo de investigación permitió recopilar información, la misma que se analizó e interpretó con la finalidad de diseñar un sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering y así garantizar un manejo integral y sostenible de los mismos.

Por consiguiente, para la recolección de datos se empleó la técnica de revisión de documentos y datos otorgados por la empresa Plusambiente S.A, así como también se utilizó la siguiente herramienta estadística de diseño de experimentos (Statease. Inc, 2016), para identificar diferencias entre los ensayos realizados por la empresa y permitió procesar la información receptada. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de todos los parámetros físicos-químicos de los 13 experimentos de compostaje. Y posteriormente, se realizó una optimización para obtener el mejor experimento, basado en los diferentes criterios de calidad (Relación Carbono/Nitrógeno) y parámetros caracterizados (Sólidos, pH, conductividad, Nutrientes primarios y secundarios).

#### 3.2.2. Investigación Documental

Este tipo de investigación se aplica mediante la utilización de fuentes de carácter documental, para ello se realizó una búsqueda de revisión bibliográfica que de manera directa e indirecta contribuyó con información esencial para el diseño del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de catering, mediante la proporción de información permitió que los resultados obtenidos pudieran sustentarse con otras investigaciones ya ejecutadas.

### 3.3. Métodos de investigación.

#### 3.3.1. Método deductivo

La presente investigación utilizó este método ya que permitió en primera instancia realizar una observación del fenómeno de estudio, los residuos orgánicos de catering**.** Este método no descubre nada nuevo; sin embargo, permitió sacar a la luz información lógica y verídica a partir de un conjunto de axiomas o premisas. Este método como tal tuvo dos funciones dentro de esta investigación, una de ellas consistió en referir el fenómeno de estudio a la ley que lo rige; es

decir, hallar el principio desconocido de un hecho conocido. Por otra parte, está la función de descubrir las consecuencias de un principio conocido.

### 3.3.2 Método analítico

A partir de la recopilación de datos estadísticos y experimentales, este método permitió caracterizar los distintos parámetros físico-químicos de los residuos orgánicos de catering que ingresan a las instalaciones de la empresa Plusambiente S.A. De tal forma otorgó mayor conocimiento y dio paso a la comprensión del comportamiento del fenómeno de estudio.

### 3.3.3. Cuantificación de los residuos de catering

*3.3.3.1. Monitoreo de la cantidad de residuos orgánicos de catering receptados.*

Mediante el uso de instrumentos como la revisión de documentos y datos otorgados por la empresa Plusambiente S.A, así como también la implementación de técnicas de análisis, se obtuvo un promedio de la cantidad de residuos orgánicos de catering que ingresaron a las instalaciones de la empresa en los últimos tres años.

*3.3.3.2. Caracterización y clasificación de los residuos orgánicos de catering.*

A pesar de que Plusambiente S.A tiene como condición estricta que los clientes entreguen únicamente materia orgánica, fue fundamental clasificar y cuantificar la materia orgánica receptada para comprobar y determinar la caracterización físico-química de la misma. Por ello, se seleccionó una muestra aleatoria de residuos almacenados durante una semana y se descargaron sobre una geomembrana plástica hasta completar un total de 100 a 200 kg. Con ayuda de una pala se distribuyó uniformemente los residuos sobre el material base y se dividió en cuatro partes (cuarteo) aparentemente iguales, dos de los cuadrantes perpendiculares opuestos se recogieron, se mezclaron y se extendieron hasta forma una capa homogénea sobre la geomembrana volviéndose a repetir el método de cuarteo, el proceso se repetió hasta obtener una muestra aproximada de 60 a 70 kg. Se tomaron 50 kg de la muestra para los análisis físicos, mientras que 10 kg para la caracterización química. Por consiguiente en cuanto a los análisis físicos se pesó con una balanza parte de los residuos para posteriormente colocarlos dentro de un contenedor o recipiente, el volumen (V) que ocuparon los residuos de se calcularon de acuerdo a la ecuación 1, considerando la forma del recipiente, siendo:

Ecuación 1Volumen de un cilindro.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

- V: volumen ($m^3$)
- π: constante (3,14159)
- r: radio (m)
- h: altura (m)

De esta forma, fue posible estimar la densidad de los residuos de catering, considerando la ecuación 2:

Ecuación 2 Densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

- ρ: densidad ($kg/m^3$)
- m: masa (kg)
- V: volumen ($m^3$)

A continuación se clasificó la materia orgánica de acuerdo a los elementos encontrados, considerando la fracción netamente orgánica y la posible presencia de papel (servilletas), envases de productos alimenticios, plásticos (cubiertos), entre otros. Estos elementos se pesaron y se registraron para estimar el porcentaje de cada material, se utilizó la ecuación 3.

Ecuación 3 Porcentaje en peso del material

$$Pi = \frac{PMi}{PT}$$

Donde:

- Pi: Porcentaje en peso del material (%)
- PMi: Peso del material i (kg)
- PT: Peso total de la muestra (kg)

Por otro lado, los 10 kg restantes de residuos de catering se colocaron en forma de torta sobre la geomembrana y se sometieron a una trituración manual gruesa. De acuerdo con el Instructivo para toma de muestras para análisis bromatológicos (INT/B/09) Agrocalidad (2018), se tomó una muestra de cinco puntos diferentes de la geomembrana, siendo una por cada extremo y una en el centro de la misma, recolectando al menos 5 kg de residuos de catering los cuales se

secaron al ambiente de manera natural y luego se colocaron 600 g de muestra en una bolsa plástica hermética, la misma fue etiquetada para ser llevada al laboratorio.

### 3.3.4. Implementación de pilas de compostaje a partir de los residuos orgánicos con mezclas de agentes de carga.

#### *3.3.4.1. Agentes de carga disponibles locamente.*

Los bultos o agentes de carga (BC) seleccionados para la investigación fueron: los residuos de palma africana (RPA) y el estiércol de ganado vacuno (EGV). Los mismos se recogieron de la empresa "Palmar del Río" y del camal municipal del cantón la Joya de los Sachas respectivamente, de los cuales se tomó una muestra de 600 g de cada una para ser llevadas al laboratorio.

#### *3.3.4.2. Materia prima.*

Las materias primas que se utilizaron como sustrato para producir el compost se recolectaron de diversas fuentes, de tal forma, la fibra de palma se obtuvo de la extractora de aceite "Palmar del Río" ubicada en la provincia de Orellana (00° 22′ 57.67″ S, 76° 59′ 40.62 O), mientras que el estiércol de ganado vacuno se recolectó del camal municipal de la Joya de los Sachas (0° 17 '35.2" S, 76° 50' 08.5" O) y los residuos de catering fueron los receptados en las instalaciones de Plusambiente S.A (00° 19 30.45" S, 77° 00′ 05.93″ O). Ahora bien, una vez obtenido el EGV y la FPA se transportaron al área de compost de la empresa Plusambiente S.A. La FPA debido a su bajo contenido de humedad actuó como una fuente ideal de energía (carbono) por lo que fue un buen agente de carga que permitió el control de lixiviados; además, mantuvo la aireación en el material compostable. El diseño experimental se realizó a partir de las mezclas de RC, EGV y FPA. La variación de los RC está entre 60 y 100 kg y de FPA se encuentra entre 10 a 20 kg; mientras que se mantuvo constante el peso 10 kg de EGV para todo el diseño experimental.

En cuanto al picado del material y amontonamiento del mismo a compostar se lo realizo mecanicamente en fragmentos de aproximadamente 10-15 cm. Un aspecto importante a considerar en la mezcla de material fue alcanzar una relación C/N adecuada. A continuación se describe la que determinó la relación C/N :

Ecuación 4 *Relación Carbono: Nitrógeno*

$$\mathbf{R} = \frac{\mathrm{Q1} \times (\mathrm{C1} \times (100 - \mathrm{M1}) + \mathrm{Q2} \times (\mathrm{C2} \times (100 - \mathrm{M2}) + ..}{\mathrm{Q1} \times (\mathrm{N1} \times (100 - \mathrm{M1}) + \mathrm{Q2} \times (\mathrm{N2} \times (100 - \mathrm{M2}) + ..}$$

Donde :

- Q : La cantidad de material a adicionar.
- C : Contenido de Carbono.
- N: Contenido de Nitrogeno.
- M:  Humedad en peso del material.

*2.3.4.3. Caracterización físico-química de los residuos orgánicos y bultos de carga.*

Los parámetros de composición físico-químicos de las materias primas se realizarón in situ y ex situ. Por consiguiente, tanto el pH inicial, como la conductividad eléctrica (CE), la temperatura (T) y el contenido de humedad (CH) se realizarón in situ con dos instrumentos de medición, un multiparámetro modelo EZ-9908 y el "Soil Survey Instrument", mientras que para el análisis del nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y el carbono orgánico total (C) las muestras tanto de los residuos de catering (RC) como de los bultos de carga (BC) se analizarón en "AqLab Laboratorios Acosta y Compañía, estos análisis fueron llevados a cabo por un técnico encargado del laboratorio. Estos ensayos se realizarón acorde a los instructivos técnicos definidos en el laboratorio acreditado mediante la técnica de espectrofotometría por absorción atómica.

*3.3.4.4.Estructura de las pilas*

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) menciona que el tamaño de una pila se define por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Por lo tanto**,** para determinar la calidad del compost obtenido a partir de los residuos de catering, agentes de cargas y otros elementos se realizó el montaje de las pilas experimentales en las instalaciones de Plusambiente S.A, las mismas que tuvieron una forma triangular. Por consiguiente, la figura dos se proyecta las dimensiones que tuvo cada pila de compost.

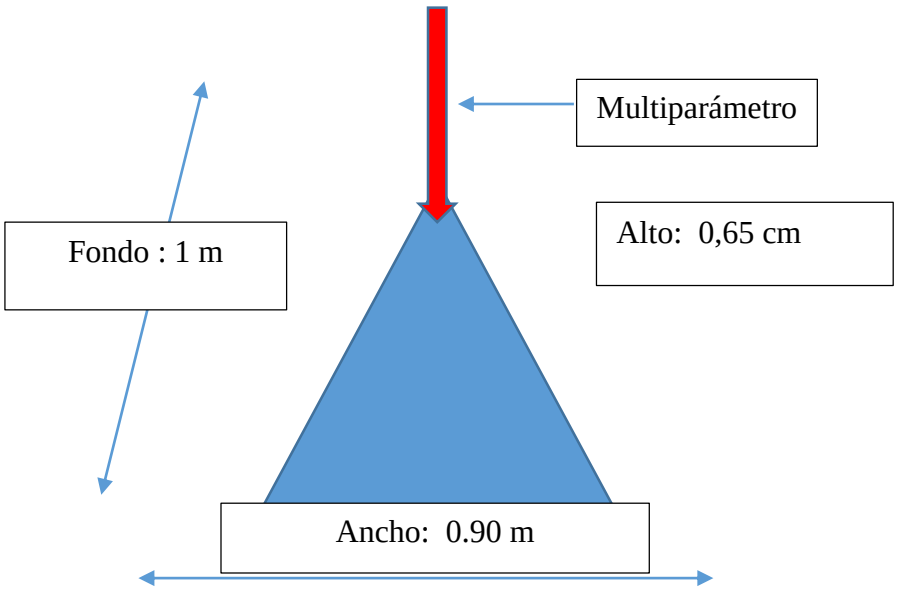



*Figura 2.* Dimensionamiento de las pilas de compost.

De acuerdo con la figura 2 se dispuse el material formando capas , el cual consistió en intercalar el material rico en carbono (FPA) y rico en nitrogeno (EGV) . La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO ,2013) recomienda que durante la formación de la pila, las capas de material más seco deben permanecer en los primeros centímetros de la pila, ya que en esa zona se tiende a acumular la humedad de la pila. A continuación en la siguiente tabla se visualizan los niveles de las variables seleccionadas para el diseño experimental.

Tabla 3 *Niveles mínimos y máximos de las variables seleccionadas para el diseño experimental.*

| **Variables** | **Rangos** | |
|---|---|---|
| | **Mínimo** | **Máximo** |
| Residuos de catering (RC) | 60 kg | 100 kg |
| Fibra de palma africana (FPA) | 10 kg | 20kg |
| Estiércol de ganado vacuno (ES) | 10 kg | 10kg |
| **Total** | 80kg | 130kg |

*3.3.4.5. Sistema de volteo*

Una vez establecidas las dimensiones de las pilas se procedió a montarlas , al dia siguiente se determinó la variabilidad de los parámetros físicos como la temperatura, pH, conductividad y

humedad durante el proceso de compostaje, por lo que se llevó un monitoreo diario durante los primeros cinco dias mediante el uso de un multiparámetro el cual fue colocado en el seno de la pila. A partir del quinto día cada pila se volteó manualmente utilizando una pala en intervalos de 5 días durante los 100 días del proceso. Una vez volteada la pila, se procedió a realizar una mezcla para formar una muestra homogenizada y posteriormente según sea necesario se humedeció la pila con una solución a base de levadura de pan (*Sascharomyses cerevisiae*) y melaza para acelerar el proceso de descomposición.

*3.3.4.6.Parámetros físicos quimicos del compost.*

El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) fue evaluado por el método semi-micro Kjeldahl. En el caso del COT, P, Ca, Mg y K total se analizará por espectrofotometría por absorción atómica.

### 3.3.5. Diseño experimental y procesamiento de datos

El software Design expert Versión 11.0.3 (Stat Ease, USA) se utilizó para el diseño de superficie respuesta (RSM), considerando un diseño central compuesto (DCC). Se utilizaron dos variables independientes, controlables e importantes, siendo los residuos de catering (kg) y la fibra de palma (kg) para poder modelar la madurez y la estabilidad del compost. El estiércol de ganado vacuno se usó en igual cantidad (10 kg), en todas las combinaciones. El número total de experimentos se determinó usando la ecuación 5 (S. Kumar & Singh, 2014), variando las cantidades RC y FP. Por consiguiente, se realizaran 13 combinaciones distintas de los residuos de catering y fibra de palma, utilizando diseños compuestos centrales (DCC), que contaron de 8 puntos de superficie y 5 puntos centrales.

Ecuación 5 Número de experimentos a realizarse en base a DCC del diseño RSM

$$N = 2^k + 2k + \eta_c = 2^2 + 2 * 2 + 5 = 13$$

Dónde:

- K: número de variables independientes (k=2 residuos de catering y fibra de palma)
- $\eta_c$= 5 es el punto central.

En la tabla cuatro se puede observar los experimentos que se ejecutarán, de acuerdo a los valores mínimo y máximos, introducidos al software Design Expert, Versión 11.0.3 (Stat Ease, USA).

Tabla 4 *Número de muestras para el experimento.*

| Numero de experimento | Residuos de catering | Fibra de palma |
|---|---|---|
| 1 | 100 | 10 |
| 2 | 80 | 15 |
| 3 | 51,7 | 15 |
| 4 | 80 | 15 |
| 5 | 80 | 22,06 |
| 6 | 60 | 20 |
| 7 | 100 | 20 |
| 8 | 108,28 | 15 |
| 9 | 80 | 15 |
| 10 | 80 | 15 |
| 11 | 60 | 10 |
| 12 | 80 | 7,92 |
| 13 | 80 | 15 |

### 3.3.6. Diseño del sistema de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos de catering

De acuerdo con la información otorgada por la empresa Plusambiente S.A y la recopilación de información bibliográfica se procedió a establecer los criterios de diseño del sistema de compostaje.

#### *3.3.6.1. Áreas de una planta de compostaje*

La implementación de un proceso de compostaje a partir de residuos orgánicos de catering requiere de la construcción o adecuación de diferentes áreas básicas, las cuales tienen que cumplir ciertos requisitos con respecto a su infraestructura, tal como lo estipula el Ministerio del Ambiente (MAE,2015). De acuerdo con la revisión bibliográfica consultada , la Agencia de residuos sólidos de Cataluña (ARC ,2016) al igual que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ( FAO, 2013), mencionan dichas estructuras , las cuales se describen a continuación .

##### *3.3.6.1.1 Área de recepción y almacenamiento temporal*

La estructura de esta área superficial cuenta con una cubierta y un suelo estabilizado con cemento. De manera que en esta cámara se llevarán a cabo las siguientes actividades: Recepción de los residuos orgánicos de catering, clasificación, separación, pesaje y almacenamiento temporal del material a compostar.

De acuerdo el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2013) para calcular el área requerida para la recepción de residuos sólidos, se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 6 Fórmula para determinar el área para la recepción y selección previa de los residuos orgánicos a compostar.

$$Ar(m^2) = \frac{Ucf}{Ds \times Hc}$$

**Donde:**

**Ucf:** Cantidad de residuos sólidos a recibir en el área de recepción (t/día).

**Ds:** Densidad de los residuos sólidos receptados (t/m$^3$).

**Hc:** Altura de los residuos dispersos (m).

Los residuos orgánicos de catering al llegar al área de recepción deberán ser esparcidos para facilitar la clasificación y separación de residuos no biodegradables como plásticos, guantes de látex, papel, etc., o de aquellos que puedan ocasionar un riesgo considerable en el proceso de compostaje. Por otra parte, dependiendo del volumen de los residuos orgánicos de catering a compostar será su altura de expansión, el cual de acuerdo con la literatura está entre los 20 a 40 cm.

*3.3.6.1.2 Área para el acopio de bultos de carga*

Esta área deberá disponer un espacio apropiado para el acopio de los bultos de carga al igual que de otros insumos que influyen el proceso de descomposición del compost y control de plagas.

*3.3.6.1.3 Área de trituración*

El área de trituración se diseña en función del tamaño de la máquina (trituradora), de igual se tomó en cuenta un espacio adicional para la manipulación de esta.

*3.3.6.1.4 Área para la degradación de residuos*

El área de los sistemas de descomposición por pilas volteadas está determinada por la Unidad de Compostaje (Ucf), Tiempo de degradación (Td) y el volumen de las pilas. Por otra parte, se tomó en cuenta el espacio necesario que habrá entre pilas, denominado pasillo. Las dimensiones del pasillo se determinaron acorde a las operaciones de remoción y aireación. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2013) menciona que, si la remoción es manual, el ancho del pasillo puede situarse en un entorno de 2 a 2,5 m, caso contrario si las operaciones son mecanizadas el ancho del pasillo deberá tener un entorno suficiente con la finalidad de que los equipos (pala cargadora) puedan movilizarse sin dificultad alguna. Por consiguiente, para

determinar el área para degradación de los residuos de catering se aplicaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 7 Fórmula para determinar el volumen de la pila para degradación.

$$Volumen\ de\ la\ pila\ para\ degradación = \frac{Ucf\ \times Td}{D}$$

**Donde:**

**Ucf:** Residuos a recibir en planta (T/día).

**Td:** Duración de ciclo de degradación (Días).

**D:** Densidad de residuos en las pilas ($T/m^3$).

Según Ávila y Moyano (2019) mencionan que para el cálculo de la longitud de la pila se toma en cuenta el volumen anterior, el mismo se divide por el área de la pila; es por ello que se contempló la geometría correspondiente de la pila ya sea triangular, trapezoidal, rectangular o semicircular. A continuación, se describe la ecuación que se usó para determinar la longitud de una pila triangular.

Ecuación 8 Fórmula para determinar la longitud de pilas triangulares.

$$Longitud\ total\ de\ la\ pila = \frac{Vol\ pila\ de\ degradación}{(Bd \times hp)/\ 2}$$

**Datos:**

**Bd:** Ancho de la pila (m).

**hp**: Altura de la pila (m).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ( FAO, 2013) el tamaño de una pila se define por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Sin embargo, la altura idónea varía entre 1.5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho que va desde 1.5 y 3 metros.

Ecuación 9 Fórmula para determinar el número de pilas a montar

$$N°\ total\ de\ pilas = \frac{Longitud\ total\ de\ la\ pila}{Lf}$$

**Donde:**

**Lf**: Longitud total de fila estándar de degradación (m).

La longitud estándar de la pila de compostaje (Lf), es variable. Por lo que, en plantas pequeñas de compostaje su largo se encuentra entre 10 a 15 m, mientras que en plantas grandes mecanizadas el largo puede alcanzar hasta los 100 m. Por lo tanto, se estableció que:

$$\textbf{\textit{Área de pilas de degradación}} = N° \text{ total de pilas en degradación} \times Bp \times Lf$$

Para determinar el área de los pasillos entre pilas se multiplicó la longitud estándar de la pila (Lf) por el ancho de los pasillos.

De acuerdo con Ávila y Moyano (2019) el espacio primordial dentro de este proceso son la forma y ubicación de las pilas de compostaje , es por ello que se tomó en cuenta su área transversal. A continuación, se establecieron las siguientes ecuaciones según su forma geométrica triangular:

Ecuación 10 Fórmula para determinar el área transversal de la pila.

$$At = \frac{hp \times Bp}{2}$$

**Datos:**

**At:** Área transversal de la pila ($m^2$).

**Bp:** Base de la pila (m).

**hp**: Altura de la pila (m).

**Nota:** Esta ecuación podría variar de acuerdo con la forma geométrica de la pila.

*3.3.6.1.5. Área de cribado*

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMA y A, 2013) establece que el material resultante del proceso de maduración debe ser afinado a través del cribado en una zaranda y cual permite observar y retirar posibles residuos impropios presentes en el compost. Asimismo, considera una altura de cribado de 1,5 como valor adecuado para realizar el cribado del compost en un intervalo de tiempo de una semana como mínimo. Tomando en cuenta que el volumen de los residuos habrá disminuido por la pérdida de humedad, se puede considerar que una vez culminado el proceso de maduración el material que pasará por el cribado y clasificación es un 30% de su volumen inicial.

Ecuación 11 Fórmula para determinar el área de cribado.

$$Área\ de\ cribado = \frac{Vol\ pila\ de\ degradación * \frac{1}{3}}{Altura\ de\ cribado} + espacio\ de\ maquinaria$$

*3.3.6.1.6 Área de almacenamiento*

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMA y A, 2013) el área del almacenamiento tiene que albergar un volumen generado al día durante un mes correspondiente a 1/3 del volumen inicial procesado al día, ya que se espera una rotación constante. Por ello, se consideró que la altura de almacenamiento estará entre los 2 m de altura, el área para este objetivo se estimó de la siguiente forma:

Ecuación 12 Fórmula para determinar el área de almacenamiento.

$$Área\ de\ almc = \frac{Vol\ pila\ de\ degradación\ \times \frac{1}{3} \times Período\ de\ almacenamiento}{Altura\ de\ almacenamiento}$$

***3.3.6.2 Control de lixiviados***

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMA y A, 2013) menciona que el suelo de la planta de compostaje deberá ser de hormigón resistente a la corrosión , con una pendiente adecuada para conducir los lixiviados hacia un sistema de recolección. Asimismo, menciona que el volumen de los lixiviados depende de los agentes de bulto, preliminarmente estima que se genera entre 40 a 80 litros de lixiviados por tonelada. Por otra parte , Amigo Bazo (2017) menciona que las dimensiones de la balsa de lixiviados se calculan en función de la capacidad necesaria para albergar el agua de lluvia y los lixiviados que se producen durante el proceso de fermentación .

### 3.3.7. Viabilidad técnica-económica del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Para la evaluación técnica del sistema de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos de catering, se analizó la documentación del capital fijo e inversión fija que ha realizado la empresa Plusambiente S.A en relación con el sistema de tratamientos de residuos orgánicos de catering durante sus años de funcionamiento.

#### *3.3.7.1. Costos*

La estimación de los costos de producción se determinó en función de los equipos, materiales o elementos esenciales que impulsen el desarrollo del proceso productivo. Para ello , de acuerdo con Véliz-Jaime *et al.*, (2019) se enumeraron de la siguiente forma :

1. Materias Primas e insumos (MP)
2. Activos fijos (AF).
3. Consumo de energía eléctrica (CEE).
4. Talento humano en planta (THP).
5. Servicios y otros gastos (SYG).

Por consiguiente, la suma de todos los elementos enumerados anteriormente dio como resultado el capital inicial de inversión (CII), considerando las materias primas e insumos de un ciclo de producción (100 días) y luego llevarlo a un valor anual. Entonces:

Ecuación 13 Capital de Inversión Inicial

$$CII = MP + AF + CEE + THP + SYG$$

De igual forma para los egresos estimados por año se consideró la depreciación de cada uno de los activos fijos tanto por ciclo de producción como su valor anual.

#### *3.3.5.2. Ingresos*

Los ingresos estimados se calcularon en base a las ventas obtenidas a partir del producto terminado, entonces:

$$I = CNT * P$$

Donde:

**CTN:** Cantidad del producto estimado.
**P:** Precio destinado para el producto.

Por consiguiente, la diferencia entre los ingresos y egresos anuales estimados para el proyecto dieron como resultado la ganancia neta del mismo, es decir:

Ecuación 14 Fórmula para estimar la ganancia neta

$$G = I - E$$

Donde:

**I:** Ingresos

**E:** egresos

#### *3.3.5.3. Relación beneficio-costo (B/C)*

De acuerdo a Aguilera (2017) es la relación entre los beneficios y los costos o egresos de cualquier proyecto. Su cálculo se estimó en base a la relación entre el valor actual de las entradas de efectivo futuras y el valor actual del desembolso original. De esta forma, la ecuación se representa de la siguiente forma:

Ecuación 15 Relación beneficio-costo

$$B/C = \frac{I}{E}$$

Donde:

**I:** Ingresos totales netos.

**E:** Egresos.

De igual forma, de acuerdo con Véliz-Jaime *et al.*, (2019) la viabilidad económica se determina mediante los siguientes indicadores financieros:

- **Valor actual neto (VAN)**

Es el valor actualizado del flujo de los ingresos netos obtenidos durante la vida útil económica del proyecto a partir de la determinación de los años de las entradas y salidas de divisas en efectivo desde que se incurre en el primer gasto de inversión durante el proceso inversionista hasta que concluya los años de operación o funcionamiento del proyecto. Este concepto se determinó acorde a la siguiente ecuación:

Ecuación 16 Fórmula para determinar el valor actual neto (VAN).

$$VAN = \left[\frac{FNE_0}{(1+i)^0} + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + .. \frac{FNE_n}{(1+i)^n}\right] - I$$

**Donde:**

**I:** Capital Inicial de la Inversión.

**FNE:** Flujo Neto Efectivo.

**N:** Número de periodos a ser evaluados.

**I:** Tasa de inversión expresada en tanto por uno.

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno (TIR) o también denominado tiempo de pago de una inversión, expresa el crecimiento del capital en términos relativos y determina la tasa de crecimiento del capital por período. Cuanto mayor sea la tasa de crecimiento del capital es mucho mejor si se trata de una inversión, ya que el TIR estará midiendo la rentabilidad. Por lo que se estimó con la ecuación 17:

Ecuación 17 Fórmula para determinar el tiempo de recuperación de la inversión (TIR).

$$0 = \sum_{n=0}^{t} \frac{C_n}{(1 + TIR)^n}$$

**Datos:**

**t:** Vida útil.

**n:** Año de Operación.

**TIR:** Tasa interna de retorno.

- **Período de recuperación de la inversión (PRI)**

De acuerdo a Aguilera (2017) hace referencia a la cantidad de años que se necesitan para recuperar la inversión a partir de los flujos netos de efectivo. Su objetivo es determinar el tiempo en que se recupera la inversión inicial. Su cálculo se expresa mediante la ecuación 18:

Ecuación 18 Fórmula para determinar el período de recuperación de inversión.

$$P = \frac{Costo\ de\ inversión}{ahorro\ anual} = \frac{Inversión}{Flujo\ entrante - Flujo\ saliente}$$

# CAPITULO IV

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Cuantificación y caracterización de los residuos de catering y agentes de carga

#### 4.1.1. Cantidad de residuos de catering receptados en las instalaciones de la empresa Plusambiente S.A.

Plusambiente S.A por su código de ética y su sistema de gestión mantiene un registro detallado de la recogida, pesaje, transporte y acopio de los residuos de catering, esto favoreció la cuantificación de materia orgánica receptada en las instalaciones, de tal forma, los datos obtenidos del control de residuos de catering fueron fuente de la empresa. En la tabla cinco se visualiza la cantidad de residuos receptados mensualmente durante los años 2018, 2019 y 2020.

Tabla 5 *Control de los residuos de catering receptados en la empresa Plusambiente S.A.*

| **Control de residuos orgánicos de catering de la empresa Plusambiente S.A (kg)** | | | |
|---|---|---|---|
| **Fecha** | **2018** | **2019** | **2020** |
| Enero | 34201,9 | 867 | 5532 |
| Febrero | 24152 | 7327 | 4968 |
| Marzo | 21785 | 2801 | 10406 |
| Abril | 18186 | 3018 | 8076 |
| Mayo | 44610 | 3533 | 3233 |
| Junio | 20846 | 8721 | 3809 |
| Julio | 22565 | 10801 | 6755 |
| Agosto | 20187 | 25118 | |
| Septiembre | 15576 | 17496 | |
| Octubre | 11704 | 17077 | |
| Noviembre | 11208 | 10025 | |
| Diciembre | 14527 | 19819 | |
| **Total Anual** | 259547.9 | 126603 | 42779 |
| **Promedio Mensual** | 21629 | 10550 | 6111 |
| **Promedio diario** | 720.97 | 351.67 | 203.70 |
| **Promedio Total Día/Año** | | **425.44 kg** | |

**Fuente:** Empresa Plusambiente S.A.

Como se ha visualizado, en la tabla 5 el flujo de recepción de los residuos de catering por cada año tiene una gran variabilidad debido a que la empresa Plusambiente S.A. tiene varios clientes, donde las empresas que brindan servicios de catering a entidades petroleras son las que más residuos orgánicos generan en comparación con otras empresas, por lo tanto, la cantidad de

residuos de catering que ingresen a las instalaciones va a depender de los clientes. Por consiguiente, la empresa Plusambiente S.A receptó 259547.9 kg de residuos orgánicos de catering (RC) durante el año 2018 teniendo un promedio mensual de 21629 kg y un promedio diario de 720.97 kg; sin embargo, en el año 2019 el flujo de entrada de residuos de catering (RC) anualmente disminuyó a 126603 kg teniendo un promedio mensual de 10550 kg y un promedio diario de 351.67 kg. Asimismo, en este periodo 2020 se estimó un promedio mensual de 6111 kg teniendo como resultado un promedio diario de 203.70 kg. Por último, a partir de los promedios diarios de los años 2018, 2019 y 2020 se calculó un promedio total diario de 425.44 kg.

Por otra parte, la empresa Plusambiente S.A para fines del año 2019 realizó una caracterización de los residuos orgánicos de catering para determinar la cantidad de materia orgánica aprovechable y no aprovechable, así como también verificar si los clientes cumplen con la política de entrega y clasificación de los residuos de catering. De acuerdo con la información otorgada por la empresa Plusambiente S.A, la cantidad de residuos de catering que se receptan por día en las instalaciones alcanzan los 12,763 kg/mes con una densidad aparente de 432.80 kg/$m^3$. De tal forma, en la figura 3 se puede observar que de los 425,44 kg de residuos de catering receptados en la empresa diariamente, el 94.05 % corresponden a materia orgánica neta, siendo de esta fracción el 49.01% correspondiente a material orgánico aprovechable y el 45.04% no aprovechable. Por otro lado, también existe un 2.35% de fundas plásticas y un 1.57% de papel, mientras que en cantidades ínfimas se encuentran residuos de tela, botellas plásticas, tetra pack, látex y lata con un 0.86%, 0.47%, 0.43%, 0.2% y 0.08% respectivamente. De tal forma, la presencia de un 5.95% de residuos inorgánicos demuestra que es necesaria una preclasificación de los residuos antes de ser compostados. Por lo que los resultados obtenidos en este estudio realizado por la empresa Plusambiente S.A demuestran que la materia orgánica representa la mayor cantidad de residuos generados con un valor de 12,003.60 kg/mes o 425.12 kg/día por los clientes al tener como política la entrega única y clasificada de este tipo de residuos, sin embargo, en menor porcentaje se recepta material inorgánico.

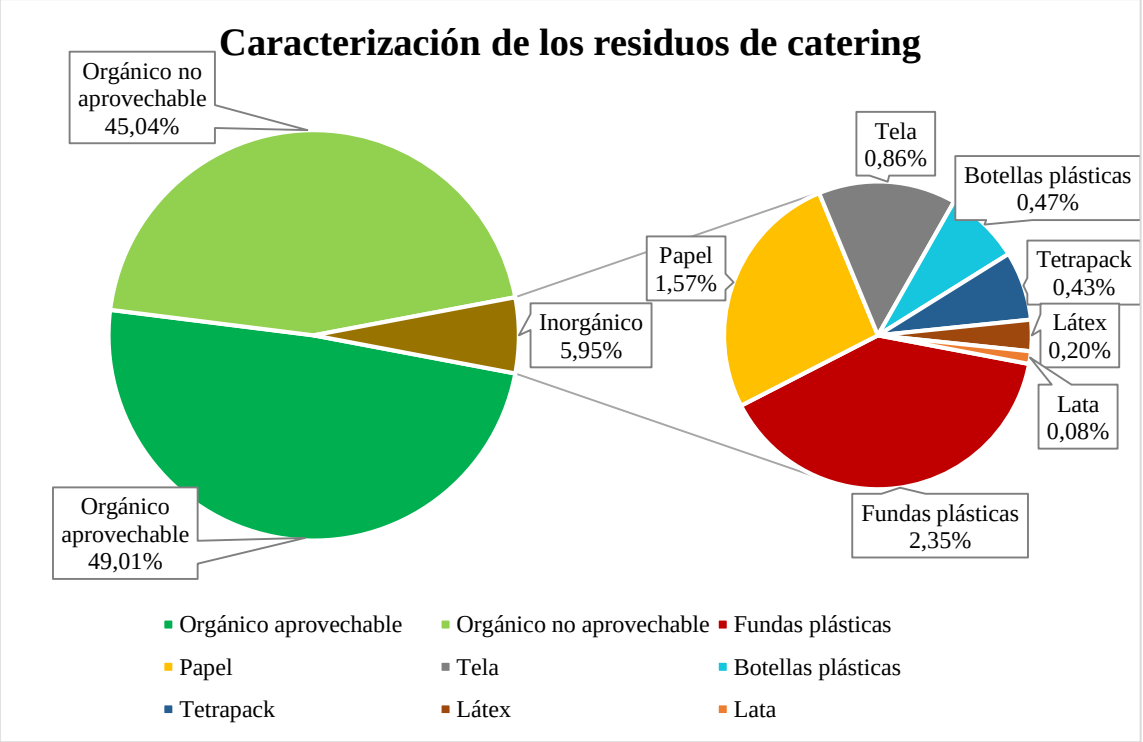



*Figura 3* Caracterización de los residuos de catering receptados en Plusambiente S.A.

### 4.1.2. Caracterización físico química de los desechos compostados

Las características físico químicas de los residuos de catering como de los agentes de carga se encuentran en la tabla seis.

Tabla 6 *Propiedades físico químicas de los desechos compostados.*

| Parámetros | UM | Residuos de catering | Fibra de palma | Estiércol bovino | Mezcla |
|---|---|---|---|---|---|
| **pH** | - | 4.40 | 5.66 | 7.38 | 5.81 |
| **Contenido de humedad** | (%) | 80 | 35 | 60 | 58.33 |
| **Temperatura** | (°C) | 28.8 | 39.2 | 28 | 32 |
| **Carbono (%)** | (%) | 35 | 52.4 | 48.9 | 45.43 |
| **Nitrógeno (%)** | (%) | 1.28 | 0.47 | 1.29 | 1.013 |
| **Densidad aparente** | $kg/m^3$ | 432.80 | 227.18 | 700.05 | 453.34 |
| **C / N** | - | 27.34 | 111.49 | 37.91 | 58.91 |

Como se puede observar en la tabla 6, el pH de los residuos de catering conjuntamente con el de la fibra de palma es relativamente ácido, mientras que el del estiércol bovino es neutro. Por consiguiente estos resultados concuerdan con lo establecido por Tayyab (2019), en donde menciona que el pH de los residuos de catering se encuentran en un rango ácido (4.96), de igual forma, el estiércol de ganado vacuno se encuentra dentro de lo establecido por Del Pino *et al.*

(2008), en donde los resultados para este parámetro fueron de 7.7. Por otro lado, el contenido de humedad tanto para el estiércol bovino como para los residuos de catering es alto con valores de 60% y 80% respectivamente, mientras que la fibra de palma posee un valor menor con un 35% de humedad. De igual forma, los residuos de catering y el estiércol bovino se encuentran a temperatura ambiente, mientras que la fibra de palma presentó un valor elevado (39.2), presentando un poder calorífico de 11.2 Talero *et al*. (2017). La densidad aparente por otro lado es superior en el estiércol bovino, seguido de los residuos de catering y la fibra de palma. Por último, la relación C/N para los residuos de catering es de 27.34, valor similar a los arrojados por Farrell & Jones (2010) con un valor de 26,11 y superior a la relación dada por Tayyab (2019) donde es de 20. Por otro lado, la fibra de palma presenta una relación C/N relativamente alta puesto que de acuerdo a Galiwango *et al*. (2019) presenta un porcentaje de contenido de lignocelulosa de 30 ± 1, siendo este polímero una gran fuente de carbono en el material vegetal. Por último, el estiércol bovino presentó in valor de 37.91 en cuanto a esta relación, valor superior a lo establecido por la literatura de Zhang (2020), donde se menciona que es de 20.3, mientras que Arikan *et al.* (2009) y Millner *et al.* (2014) indican que la misma es de 23, por consiguiente estas diferencias pueden darse por la alimentación del ganado, lo cual incide en la variación de los nutrientes que presenta su estiércol.

## 4.2. Diseño del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en Plusambiente S.A.

Para el diseño y dimensionamiento del sistema de compostaje primeramente fue necesario establecer cuál de los tratamientos evaluados de manera piloto por parte de la empresa es el que presentó las mejores condiciones dado los resultados de sus parámetros físicos químicos, para posteriormente llevar el mismo a gran escala en el diseño del sistema.

### 4.2.1. Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH de las pilas

- **Temperatura**

La tabla siete muestra en resumen el comportamiento de la temperatura en cada una de las pilas, en donde se alcanza la fase mesofílica (Temperatura <40 ° C), la fase termofílica (Temperatura> 45 ° C) a lo largo de las fases de maduración y enfriamiento. La creciente tasa de temperatura comenzó desde el primer día, ya que los tratamientos 5, 6, 11 y 13 superaron los 45 °C en este periodo de tiempo, por consiguiente, a los 6 días todos los tratamientos habrían poseído la actividad microbiana activada. La temperatura máxima se observó en la combinación de T5 (80 kg de residuos de catering + 22.05 kg de fibra de palma + 10 kg de estiércol bovino) con 62.8

°C, y en el T6 (60 kg de residuos de catering + 20 kg de fibra de palma + 10 kg de estiércol bovino) con 61.4 ° C. Se observó que cada combinación había alcanzado un mínimo de 9 días de fase termófila y un máximo de 23 días de la misma, lo que demuestra que el compost fue desinfectado correctamente ya de acuerdo a Zhang & Sun (2014) si la fase termófila dura más de tres días, el compost estará libre de semillas de malezas y patógenos y se podrían cumplir los requisitos de saneamiento. Por otro lado, se observó que las pilas alcanzaron cerca de la temperatura ambiente (25.5 ° C ±3) como mínimo a los 35 días y máximo a los 55 días de haber iniciado el proceso de compostaje.

Tabla 7 *Resumen del comportamiento de las temperaturas en los tratamientos.*

| | **pH inicial** | **Momento en que comenzó la fase termofílica (días)** | **Temperatura máxima (°C)** | **Tiempo requerido para obtener la temperatura máxima (días)** | **Duración de la fase termofílica (días)** | **Tiempo requerido para alcanzar el ambiente ± 3 °C (días)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **T1** | 4.25 | 6 | 55,7 | 15 | 9 | 55 |
| **T2** | 4.26 | 2 | 58.5 | 15 | 18 | 55 |
| **T3** | 4.43 | 3 | 57 | 6 | 12 | 55 |
| **T4** | 6.02 | 3 | 59.7 | 10 | 12 | 55 |
| **T5** | 4.86 | 1 | 62.8 | 10 | 14 | 55 |
| **T6** | 4.06 | 1 | 61.4 | 10 | 14 | 55 |
| **T7** | 6.8 | 2 | 58.8 | 10 | 23 | 60 |
| **T8** | 6.3 | 5 | 58.8 | 10 | 15 | 55 |
| **T9** | 6.78 | 2 | 57.3 | 10 | 13 | 55 |
| **T10** | 4.86 | 3 | 57.9 | 10 | 12 | 60 |
| **T11** | 5.78 | 1 | 53 | 6 | 14 | 35 |
| **T12** | 5.34 | 5 | 53.8 | 15 | 10 | 35 |
| **T13** | 4.27 | 1 | 58.5 | 6 | 14 | 55 |

**Fuente:** Plusambiente S.A

- **pH**

El pH es un parámetro importante para influir en el crecimiento de microbios durante la fase de compostaje (Sharma *et al.,* 2018). Así, de acuerdo a Turan (2008) generalmente el pH sigue un patrón en el compostaje; disminuyendo sus niveles en las primeras etapas del proceso y elevándose en las últimas, por consiguiente, en la figura 4 se observó un pH mínimo de 4.06 en el T6 cuando la cantidad de residuos de catering fue de 60 kg, la fibra de palma de 20 kg y el estiércol de 10 kg. Por otro lado, se observó un pH máximo de 8.73 en el T11 cuando la cantidad de residuos de catering fue de 60 kg, la fibra de palma al igual que el estiércol bovino fue de 10 kg. Inicialmente, el pH varió inicialmente de 4.06 a 6.78 y aumentó de 6.55 a 6.82 en cada pila

al final de los 100 días. De esta forma, el aumento del pH puede deberse a la acumulación de amoníaco resultante de la degradación de las proteínas. Por otro lado, el pH del compost maduro debe estar en el rango de 6.0–8.5 de acuerdo a Hachicha *et al*. (2009), de ahí que todas las mezclas se encontraron dentro de este rango óptimo de estabilidad en cuanto al pH.

De igual forma el pH de los 13 tratamientos cumplen con la normativa chilena (NCh) 2880 estipulada por el Instituto Nacional de Normalización (INN, 2004), el cual establece que el rango optimo del pH debe estar entre 5 a 8.5. Por otra parte , el manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola establecido por Agrocalidad (2018) estipula que pH de los abonos agrícolas deben tener un rango de 4 a 9.

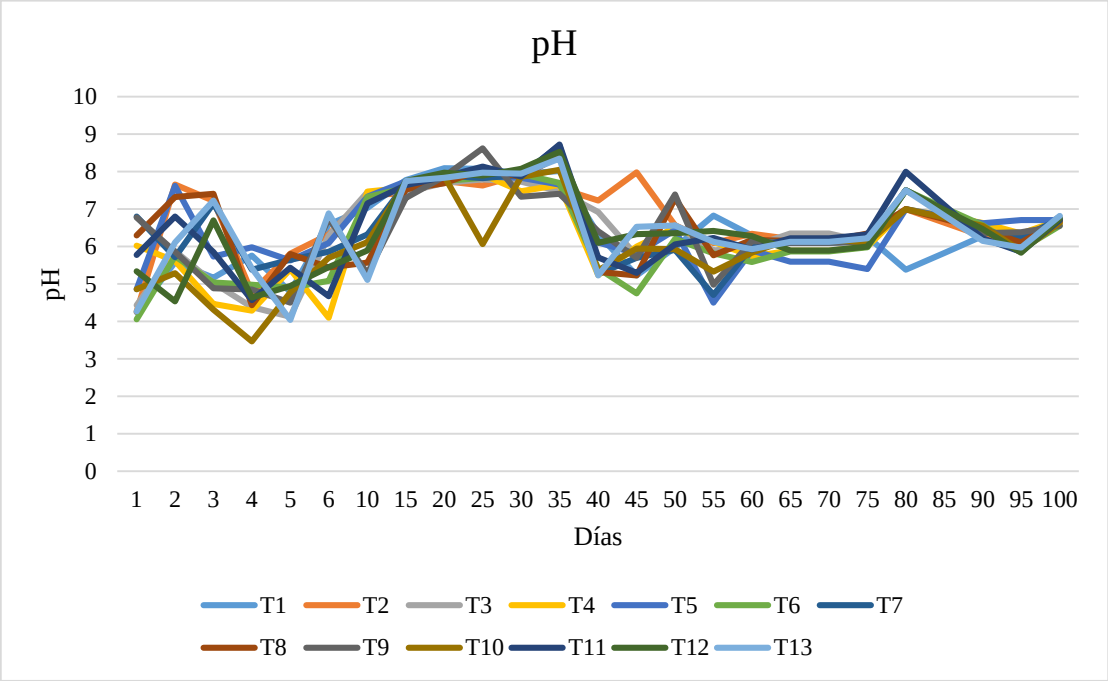



*Figura 4*. Comportamiento del pH en los tratamientos vs los días del proceso.

- **Conductividad eléctrica**

Paralelamente la CE indica el contenido total de sal del compost que refleja la calidad del compost que se utilizará como fertilizante (Jiang *et al*., 2015). En la figura 5 se puede observar que la CE mínima fue de 2 µS/cm en el T6 cuando la cantidad de residuos de catering fue de 60 kg, la fibra de palma de 20 kg y el estiércol de 10 kg, mientras que la CE máxima de 9580 µS/cm se observó en el T1, donde la cantidad residuos de catering fue de 100 kg y la fibra de palma al igual que el estiércol bovino fue de 10 kg. Inicialmente, la CE en cada combinación fue de 229 a 8560 µS/cm, que se disminuyó a un intervalo de 42.6 a 2899 µS/cm durante los

100 días del proceso de compostaje, esta disminución pudo haberse dado debido a la volatilización del amoníaco y a la precipitación de sales minerales (Huang *et al*., 2004).

Por consiguiente, de acuerdo a Awasthi *et al.,* (2014) y Juárez *et al.* (2015) contemplan que el límite permisible para para el valor de CE aplicable para el suelo es de 4000 µS/cm y 3000 µS/cm respectivamente, de tal forma los valores finales para el compost obtenido en cualquiera de los tratamientos demuestra que puede ser aplicado de manera segura como enmienda para el suelo agrícola. Así mismo, la normativa chilena (NCh) 2880 estipulada por el Instituto Nacional de Normalización (INN, 2004) menciona los valores óptimos de CE de acuerdo a la siguiente a un compost maduro Clase A debe poseer una conductividad eléctrica menor o igual a 5000 µS//cm, a su vez el compost Clase B debe estar entre 5000 µS//cm y 12 µS//cm y por último en un compost inmaduro o subestándar este requisito no se aplica. De tal forma, la CE de los 13 tratamientos es ≤ 2,899 µS/cm; de modo que cumplen con los parámetros establecidos en la normativa chilena (NCh) 2880 y entran a la categoría Clase A.

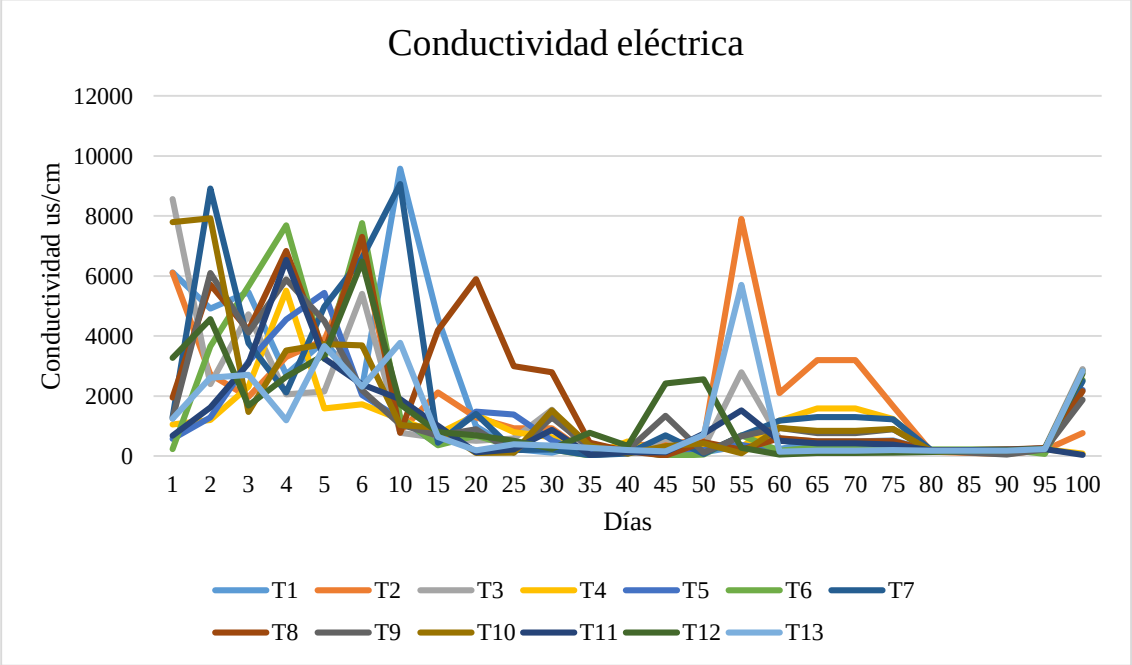



Figura 5. *Comportamiento de la conductividad en los tratamientos vs los días del*

### *4.2.2 Calidad del compost*

A continuación, en la tabla ocho se visualizan los resultados de los parámetros fisicoquímicos de los 13 tratamientos evaluados.

Tabla 8 *Parámetros físicos y químicos del compost final.*

| N° Trata | COT | CE | NKT | Calcio | $P_2O_5$ | Magnesio | $K_2O$ | pH | C/N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| **miento s** | % | µS/cm | % | mg/kg | mg/kg | mg/kg | % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 33.9 | 2870 | 1.11 | 330.9 | 339.92 | 108.8 | 2.12 | 6.68 | 30.54 |
| T2 | 40.4 | 767 | 0.8 | 349.5 | 194.8 | 109.6 | 2.32 | 6.62 | 50.50 |
| T3 | 41 | 2899 | 1.04 | 541.1 | 252.03 | 69.7 | 1.74 | 6.8 | 39.42 |
| T4 | 39.7 | 81.5 | 0.98 | 381.2 | 312.22 | 90.3 | 1.84 | 6.71 | 40.51 |
| T5 | 43.1 | 2202 | 0.85 | 316.8 | 166.89 | 147.3 | 1.84 | 6.71 | 50.71 |
| T6 | 42.7 | 2537 | 0.95 | 474.3 | 186.05 | 107.6 | 1.67 | 6.55 | 44.95 |
| T7 | 38.8 | 2497 | 1,02 | 508.8 | 240.01 | 145.7 | 2.71 | 6.73 | 38.04 |
| T8 | 41.8 | 2168 | 1.09 | 319.1 | 340.31 | 110.4 | 2.63 | 6.68 | 38.35 |
| T9 | 42.7 | 1881 | 1.21 | 476.9 | 242.97 | 51.4 | 2.06 | 6.55 | 35.29 |
| T10 | 38.8 | 2835 | 1.01 | 791.2 | 184.39 | 66.5 | 1.82 | 6.64 | 38.42 |
| T11 | 39.8 | 42.8 | 0.9 | 762.3 | 192.52 | 67.1 | 1.7 | 6.71 | 44.22 |
| T12 | 38.9 | 2746 | 1.09 | 509.5 | 386.68 | 89.1 | 2.36 | 6.75 | 35.69 |
| T13 | 41 | 2832 | 1.12 | 570.9 | 322.89 | 50.3 | 2.53 | 6.82 | 36.61 |

**Fuente:** Plusambiente S.A.

En virtud de la inexistencia de una normativa técnica ecuatoriana que establezca requisitos para determinar la calidad del compost, se procedió a comparar los resultados obtenidos (Tabla 8) con el manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola establecido por Agrocalidad y con normativas técnicas extranjeras. A continuación, en la tabla nueve se disponen los límites permisibles que establece cada norma.

Tabla 9 *Normativas técnicas vigentes para determinar la calidad del compost.*

| **Normativas** | **COT** | **CE** | **NKT** | **Calcio** | **Fósforo** | **Magnesio** | **Potasio** | **pH** | **C/N** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | µS/cm | % | mg/Kg | % | mg/Kg | % | | |
| Norma técnica chilena (NCh) 2880 | - | Clase A ≤5mmho/cm | ≥0.8 | - | ≤ 0.1 | - | - | ≥ 5 ≤8.5 | Clase A >10 ≤25 |
| | | Clase B ≤12mmho/cm | | | | | | | Clase B >10 ≤40 |
| | | Inmaduro No aplica | | | | | | | Inmaduro ≥50 |
| Norma técnica colombiana (NTC) 5167 | - | - | >1 | - | >1 | - | >1 | - | - |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Manual Técnico – Agrocalidad | ≥5 ≤15 | - | >1 | - | >1 | - | - | ≥ 4 ≤ 9 | - | |

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N)**

La relación C/N inicial de cada tratamiento es un factor determinante en la relación C/N final del compost (Bohórquez *et al*., 2014). De igual forma, es un indicador del grado de descomposición de los residuos orgánicos de catering, es por ello que tienden a disminuir durante el proceso de compostaje. En la siguiente figura se observa el comportamiento de la relación C/N inicial vs relación C/N final durante los 100 días.

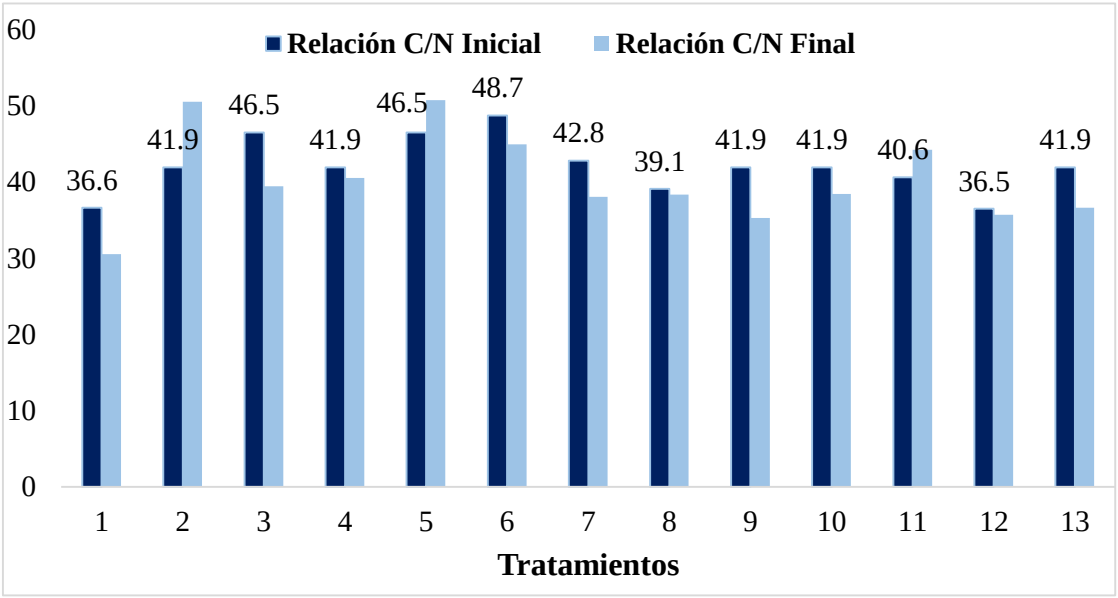



*Figura 6.* Comportamiento de la relación C/N inicial vs final de los 13 tratamientos de compost.

Se observa como la relación C/N inicial disminuyó en los tratamientos T1, T3, T4, T6, T7, T8, T9, T10, T12, T13, corroborando el proceso de descomposición de la materia orgánica; sin embargo, solo los tratamiento T1, T8, T11, T12, cumplen con la normativa chilena (NCh) 2880 donde estipula que la relación C/N inicial de ser entre 25:1 y 40:1. De acuerdo con Rastogi *et al*., (2020) menciona que una relación C/N más alta en comparación con la recomendada , demuestra que la velocidad de compostaje es lenta y sobre todo demuestra una deficiencia de nutrientes. No obstante, es importante mencionar que los experimentos partieron con una relación C/N alta debido a la influencia de la fibra de palma puesto que tiene una relación C/N de 111.48, dado que los residuos de catering contenían grandes cantidades de humedad

requerían de un agente de bulto que permita reducir la humedad de las pilas y la circulación del aire para así evitar la anaerobiosis del proceso, por lo que se adiciono la fibra de palma ya que es un residuo que se está disponible en todo momento y no posee costo alguno, a pesar de que la relación C/N de la misma fuera elevada. Por consiguiente, en la figura 4 se observa con mayor claridad las diferencias significativas que posee cada tratamiento en función de la relación C/N final.

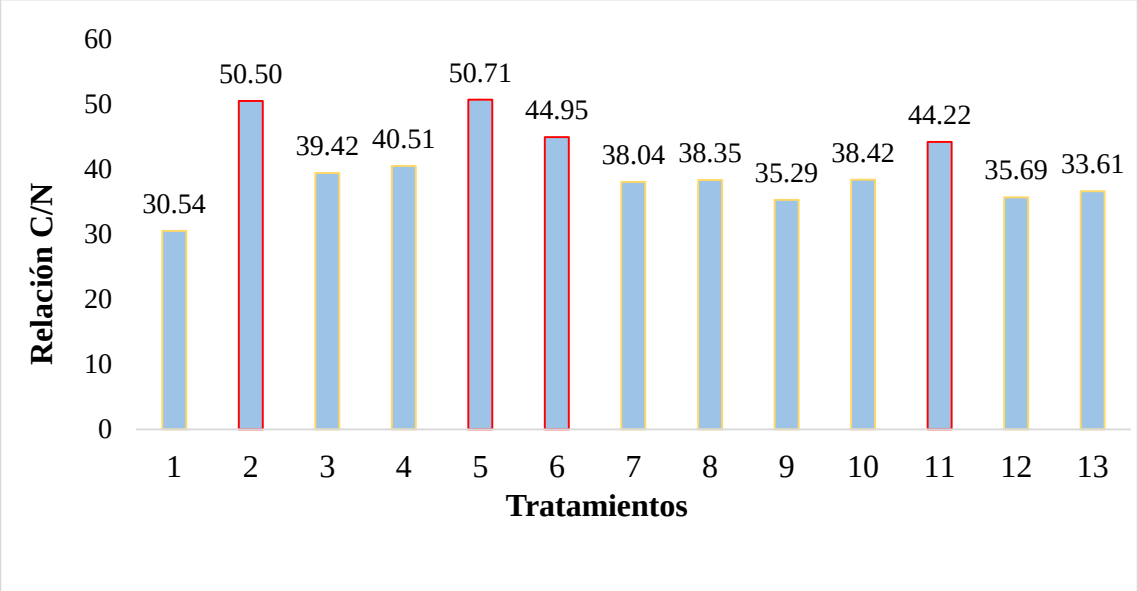



*Figura 7.* Relación C/N en los diferentes tratamientos a los 100 días.

Las relaciones C/N evaluadas durante 100 días en los 13 tratamientos dieron resultados intermedios, en función al cumplimiento de la normativa (Tabla 5). De acuerdo con Bohórquez *et al.*, (2014) mencionan que el rango óptimo en cuanto a la relación C/N del compost debe ser cercano a 20. En la figura 4 se visualiza que ninguno de los tratamientos posee un valor cercano 20; es decir, que ninguno de los tratamientos tiene una categorización Clase A de acuerdo a la normativa chilena (NCh) 2880. Sin embargo, se obtuvo una categorización Clase B en los tratamientos T1, T3, T4, T7, T8, T9, T10, T12, T13 cuyo resultados están dentro del rango óptimo de > 10 y < 40. Estos tratamientos poseen un nivel intermedio de calidad, por ello presentan algunas restricciones para su uso ya que requieren ser mezclados con otros elementos. Por otro lado, los tratamientos T2, T5, T6, T11 tienen una categorización de compost inmaduro o subestándar, los cuales no alcanzaron las etapas de enfriamiento y maduración, por ello se deben mezclar con otros productos para no producir un déficit de nitrógeno.

- **Contenido de nutrientes**

La normativa chilena (NCh) 2880 estipula los valores óptimos del contenido de Nitrógeno total (NT) y fósforo total ($P_2O_5$) en el compost (Tabla 9). A continuación, en la figura 8 se observa el comportamiento del nitrógeno total en los diferentes tratamientos.

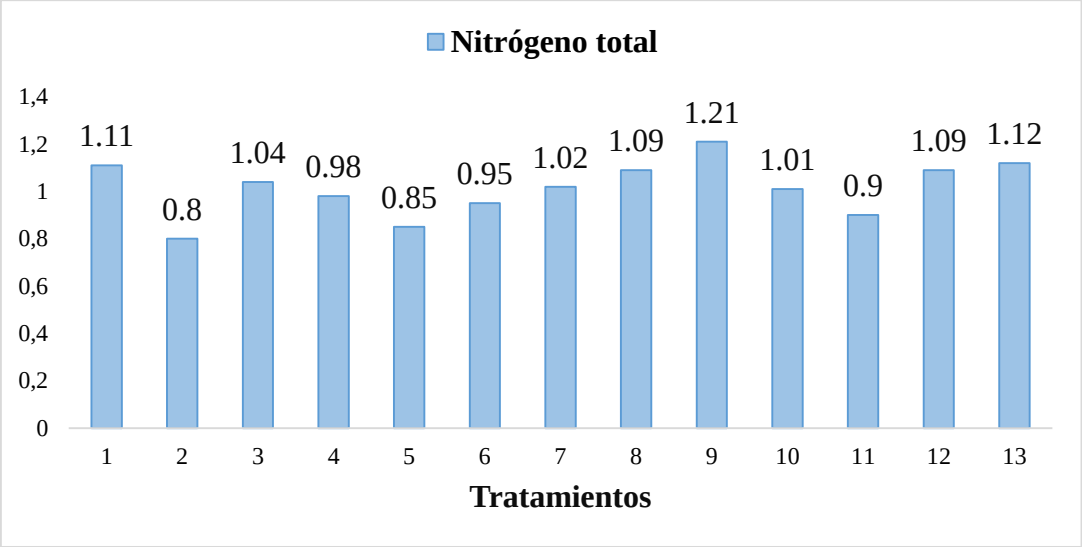


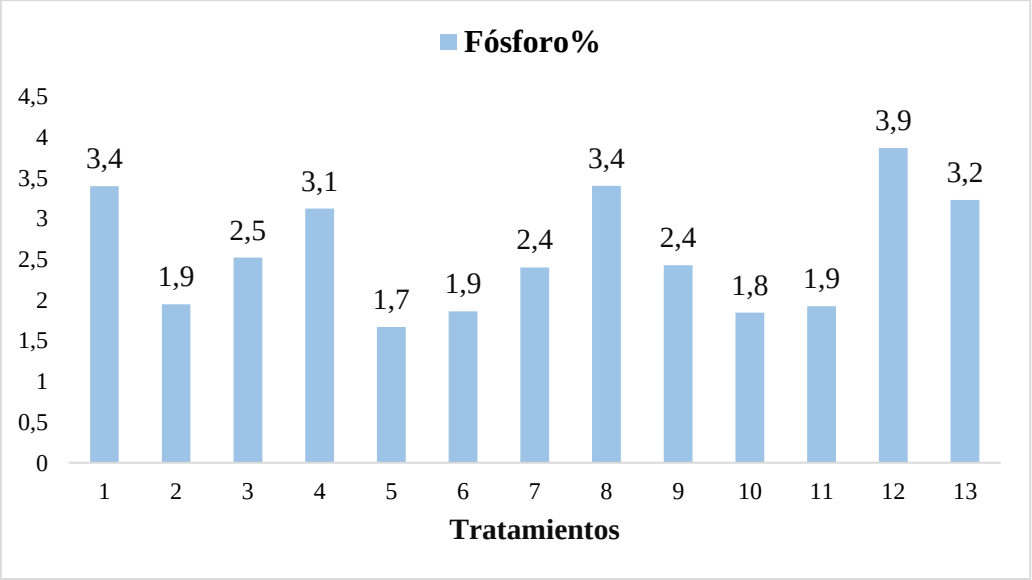

Figura 8. *Comportamiento del Nitrógeno total de los tratamientos.*

Todos los tratamientos están dentro de los valores óptimos establecidos en la normativa. El T9 es el que posee mayor cantidad de nitrógeno total con valor de 1.21%; por otra parte, el T2 con 0.8 % es el contiene el menor cantidad de NT en comparación con los otros tratamiento; sin embargo, este valor está dentro de lo estipulado. Ahora bien, con respecto a la cantidad de fósforo total se puede observar en la siguiente figura su concentración en cada uno de los tratamientos.

Por otro lado, en la figura 9 se muestran las respectivas concentraciones de fósforo en los 13 tratamientos. Ahora bien, al comparar los resultados con lo estipulado en la tabla 9 se determina que la concentración de fósforo supera 0.1% determinado por la normativa chilena (NCh) 2880. Sin embargo, de acuerdo con el manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola establecido por Agrocalidad y con la normativa técnica colombiana (NTC) 5167 estipulada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2011)., las concentraciones de fósforo en los 13 tratamientos están dentro del rango óptimo. De modo que, los 13 tratamientos cumplen con el requisito de ser mayores al 1%. Por otra parte, las concentraciones de Potasio (K) en cada uno

de los tratamientos cumplen con la norma técnica colombiana (NTC) 5167, los cuales son superiores al 1%.

*Figura 9.* Concentración de fósforo en los diferentes tratamientos.




### *4.2.1.2 Análisis de varianza (ANOVA)*

El análisis ANOVA demuestra que un modelo será significativo a un intervalo de confianza del 95% si la prueba F que tiene un valor de P es menor que 0.05 (Sharma & D. Yadav, 2017). Por otro lado, un valor de p mayor a 0.05 implica que la falta de ajuste es relativamente insignificante al puro error (Gomez & Sartaj, 2014), por consiguiente el análisis estadístico arrojado por el MSR reveló diferencias significativas para la relación C/N y para la composición de Mg y K en los resultados finales de las pilas de compostaje, al igual que diferencias no significativas para los parámetros de N, COT, Ca y P evaluados en los 13 tratamientos, como se puede observar en la tabla 10.

Tabla 10 *Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físico-químicos del compost final.*

| Parámetro | Suma de cuadrado | df | Media al cuadrado | Valor de F | P valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Nitrógeno | 0.0225 | 2 | 0.0112 | 1.73 | 0.2261 * |
| C/N | 192.14 | 7 | 27.45 | 12.27 | 0.0070 ** |
| COT | 33.99 | 3 | 11.33 | 2.79 | 0.1014* |
| Ca | 1.357E+05 | 3 | 45243.26 | 2.62 | 0.1149* |
| P | 38031.75 | 5 | 7606.35 | 1.98 | 0.1993* |
| K | 1.00 | 2 | 0.5013 | 9.58 | 0.0047** |
| Mg | 9631.00 | 5 | 1926.20 | 6.62 | 0.0138** |

* No significativo
** Significativo

La relación C/N presentó diferencias significativas ya que arrojó un valor de P de 0.0070, la misma observación fue encontrada por Iqbal e*t al.* (2015) en desechos de cocina y en estudios realizados por Kumar *et al.* (2010) al compostar desperdicios verdes y de alimentos, ambos estudios aplicaron el MSR para obtener las condiciones de funcionamiento óptimas para el compost maduro, de tal forma encontraron diferencias altamente significativas en su C/N. Estas diferencias pueden estar asociadas a que en los tratamientos existen valores mayores a otros que son relativamente inferiores (ver tabla 8), tal es el caso del T5 donde obtiene para este parámetro el valor máximo de 50.75 mientras que el T1 obtuvo el valor mínimo de 30.54, de tal forma estadísticamente estos experimentos son diferentes. Por otro lado, dado que la relación C/N es un indicador del grado de descomposición de la materia orgánica Lazcano *et al*., (2008), tiende a disminuir durante el proceso de compostaje Yang *et al.*, (2015), de esta forma los valores óptimos para este parámetro son de 25–30 Huang *et al.,* (2004), por consiguiente al obtener valores superiores a 30 para la relación C/N en esta investigación la condición aplicada en el modelo estadístico fue de minimizar este valor, declarando que el T1 es el más apropiado para aplicarse como enmienda para el suelo.

Estas diferencias significativas están basadas principalmente en la composición inicial de los sustratos, en donde las cantidades de residuos de catering y de fibra variaron de 30-0 y 5-10 respectivamente, dado que el ajuste de las materias primas para dar una relación C/N adecuada necesitó de la adición de agentes de carga, principalmente fibra de palma como aporte de C para compensar la pérdida del mismo dada por la acción microbiana en donde usan el C disponible de 30 a 35 veces más rápido que la velocidad a la que convierten el N (Igoni et al., 2008), además su adición permitió mejorar la porosidad, circulación de aire y la adsorción de la humedad en la pila. De esta forma, el C y N son los nutrientes más cruciales para los microrganismos del suelo, ya que el C se usa como fuente de energía mientras que N se usa para construir la estructura celular (Iqbal *et al*., 2015), por consiguiente la C/N es un índice de la calidad del sustrato orgánico del suelo ya que indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas (Gamarra *et al.*, 2018), por lo que no es más que otro parámetro usado para indicar que la degradación de la materia orgánica se ha estabilizado (Isaza *et al*., 2009).

Así mismo, el potasio (K) presentó diferencias altamente significativas dentro de los 13 tratamientos con un valor de P de 0.0047, ya que los resultados experimentales arrojaron un valor máximo de 2.71% para el T7 y un valor mínimo para el T6 con 1.67% (ver tabla 8 ), la importancia de este elemento en un compost maduro radica en lo establecido por Coitiño *et al*. (2016) en donde menciona que el K es un macronutriente esencial para el desarrollo y crecimiento vegetal, de igual forma es el que se absorbe en mayor cantidad solo después del

nitrógeno, interviniendo en funciones fisiológicas relacionadas a tolerancia a estreses bióticos y abióticos y a la salud de la planta. De acuerdo a lo anteriormente expresado se tomó como condición maximizar este parámetro dentro del modelo estadístico, considerando al T7 como el de mejor concentración de este macronutriente, a pesar de ello es importante recordar que como anteriormente se expresó todos los resultados de los 13 tratamientos para el contenido de K arrojaron valores superiores al 1%, por lo que acorde a la normativa colombiana (ICONTEC, 2011) se encuentran dentro del límite mínimo permisible para su aplicación sobre el suelo. Por otro lado, las concentraciones de K dentro de las pilas de compostaje pudieron haberse dado por el aumento de pH en las últimas etapas del proceso al ser este de tipo aeróbico (Onwosi *et al*., 2017), dado por los procesos de mineralización y degradación de los compuestos orgánicos presentes en las materias primas compostadas inicialmente (Bohórquez *et al*., 2015).

Paralelamente, el Mg también presentó diferencias significativas al arrojar un valor de P de 0.0138, estos resultados se debieron a que los tratamientos presentaron valores máximos de 145.7 mg/kg y un mínimo de 50.3 mg/kg para los tratamientos 7 y 13 respectivamente (ver tabla 8), de manera que como macronutriente secundario la función más sobresaliente de este parámetro en la planta es su función como átomo central de la molécula de clorofila, además este elemento participa en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, en la fijación de $CO_2$ como coenzima y de igual forma está involucrado en la regulación de pH y del ajuste de turgencia de las células de la planta (Ross, 2004). Por consiguiente, este parámetro se maximizó como condición dentro del modelo experimental.

Por último, de acuerdo a la tabla 6 lo valores obtenidos para el NTK, COT, Ca y P de ANOVA arrojaron un valor de P de 0.2261, 0.1014, 0.1149 y 0.1993 respectivamente, es decir valores superiores a 0.005 por lo que el modelo estadístico en estos parámetros no presentó diferencias significativas para los 13 tratamientos evaluados, ya que como se pudo observar en la tabla 4 para el NTK los valores fluctuaron entre 0.8% y 1.21%, mientras que para el COT de 33.9 % a 43.1%, por otro lado para el Ca varió de un rango de 319.1 mg/kg a 791.2 mg/kg y por último el fósforo (P) obtuvo valores de 166.89 mg/kg a 386.68 mg/kg. Es importante mencionar que los valores del NTK no varían significativamente puesto que su presencia en el compost final viene dada por la adición de este parámetro de manera inicial en las materias primas, de tal forma, la fuente principal de su contenido se encontró en el estiércol de ganado bovino (EGB), el cual fue suministrado de manera equitativa para los 13 tratamientos (10 kg). Por otro lado, el Ca y el P como nutrientes son útiles para el crecimiento de la planta y su presencia salvará a la misma de diversas enfermedades, plagas, sequías y resfriados (Sharma & Yadav, 2017).

#### *4.2.1.3 Optimización y verificación del modelo.*

Se procedió a optimizar las condiciones de operación para cada uno de los tratamientos evaluados. Por ello, el peso proporcional óptimo de los residuos de catering (RC) y fibra de palma africana (FPA) para el compostaje de pila aireada se obtuvo de las diversas respuestas utilizando el software Stat-Ease, Inc. Este software proporciona cinco puntos para cada factor y respuesta para establecer como ninguno, máximo, mínimo, objetivo y dentro del rango, para así obtener las condiciones ideales. El objetivo esperado para los RC se estableció para maximizar y la FPA como minimizar, debido a que se tenía como objetivo utilizar la cantidad máxima de los RC y la cantidad mínima de FPA. Asimismo, para la optimización multirespuesta se establecieron como objetivos la minimización de la relación C/N al igual que la maximización de la nutrientes (NPK).

Por consiguiente , de los 13 tratamientos diferentes para el compostaje obtenidos del modelo superficie respuesta , el tratamiento uno (T1) presentó la combinación óptima del diseño central compuesta por 100 kg de residuos de catering , 10 kg de fibra de palma africana y 10 kg de estiércol de ganado vacuno , debido a que sus resultados manifestaron una baja relación C/N al igual que las concentraciones de nutrientes en el compost final estuvieron dentro del límite establecido por la Normativa Técnica Chilena (NCh2880).

A continuación, la siguiente figura muestra la variación de la relación C/N durante el proceso de compostaje a partir de la combinación óptima de 100 kg de residuos de catering, 10 kg de fibra de palma africana y 10 kg de estiércol de ganado vacuno. Inicialmente, la relación C/N era de 36.6, y en el último día de compostaje este valor descendió a 30.54.

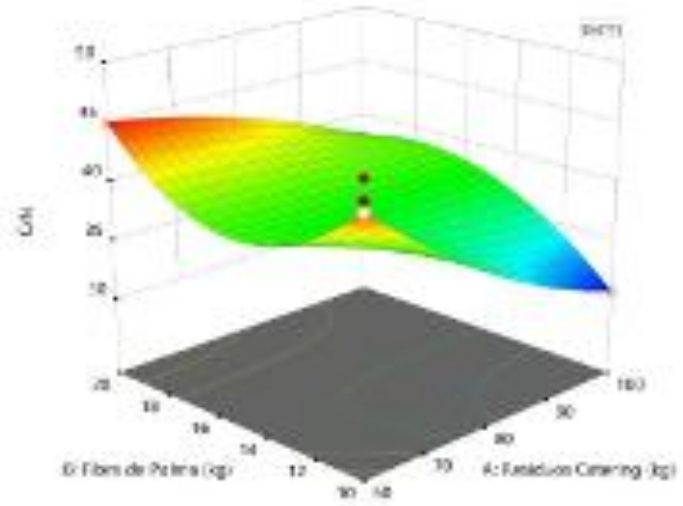


*Figura 10* Comportamiento de la relación C/N en función de las cantidades de los RC y de FPA.

De acuerdo con los resultados que arrojó el modelo superficie respuesta basándose en la combinación óptima, se observó en la gráfica 3D de la figura 10 una cantidad de relación C/N mínima de 30.54 cuando la cantidad de residuos de catering (RC) fue de 100 kg, y la fibra de palma africana (FPA) de 10 kg. De igual forma, se observó una relación C/N máxima de 45.40 cuando la cantidad de los RC es de 100 kg, y la FPA de 20 kg, este comportamiento indica la estabilidad y madurez del compost.

Por otra parte, en las siguientes gráficas 3D se muestra el comportamiento del contenido nutricional en la proporción óptima durante el período de compostaje, priorizando a los elementos Nitrógeno(N), Fósforo (P) y Potasio (K).

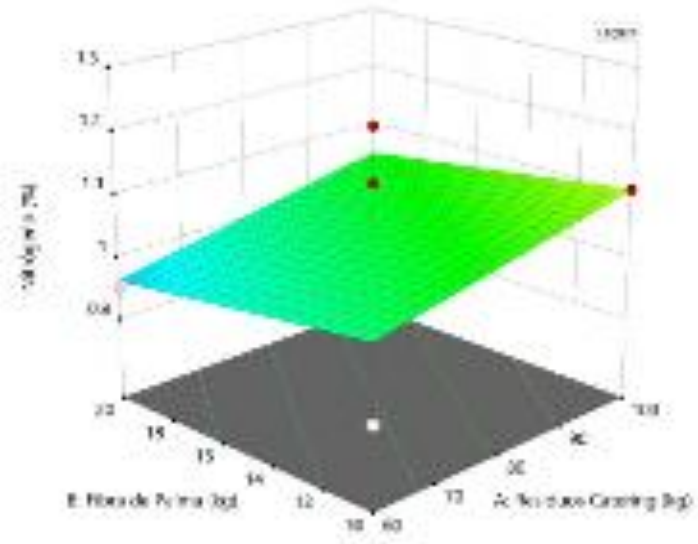


*Figura 11* Comportamiento del nitrógeno en función de las cantidades de los RC y de FPA

La cantidad de Nitrógeno (N) final en la proporción óptima del modelo superficie respuesta fue del 1.11%. No obstante, en la figura 11 se muestra el comportamiento del nitrógeno donde se obtiene una cantidad mínima de N de 0.9 cuando la cantidad de residuos de catering (RC) es de 60 kg, y la fibra de palma africana (FPA) de 10 kg. De igual forma, se observa una cantidad máxima de N de 1.21 cuando la cantidad de los RC es de 100 kg, y la FPA de 20kg. Por otra parte, en la siguiente gráfica se demuestra el comportamiento del Potasio (K).

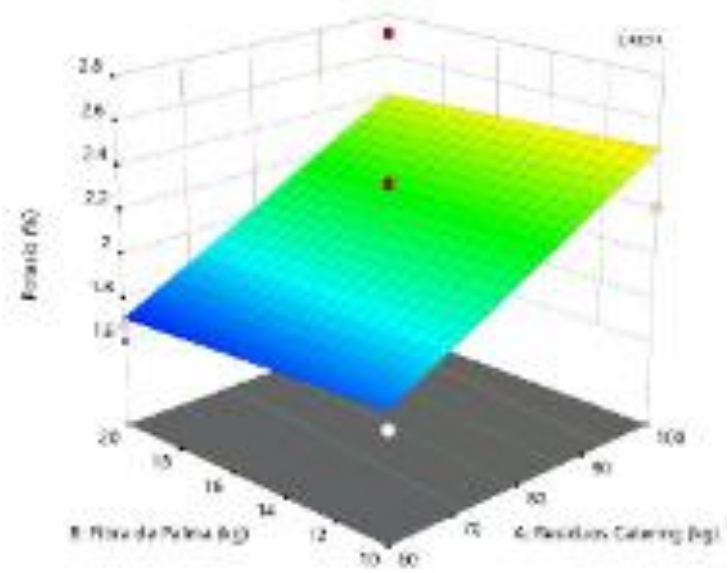


*Figura 12* Comportamiento del potasio en función de las cantidades de los RC y de FPA.

La concentración de potasio (K) final en la combinación óptima del modelo superficie respuesta fue del 2.12 %. Sin embargo, a partir de esta proporción óptima en la figura 12 se muestra la concentración de este elemento a partir de la cantidad mínima y máxima de los RC y la FPA. Cuando la cantidad de RC es de 60 kg y la cantidad de FPA es de 10 kg, se obtiene una concentración de 1.67 % de K. Del mismo modo, cuando se tiene como cantidad máxima de 100 kg de RC y 20 kg FPA, se obtiene una concentración 2.71% de K. Por último, la concentración de fósforo en el tratamiento uno fue de 339.92 mg/kg, en la figura 13 se muestra el comportamiento de este elemento en función de las cantidades mínimas y máximas de la proporción óptima.

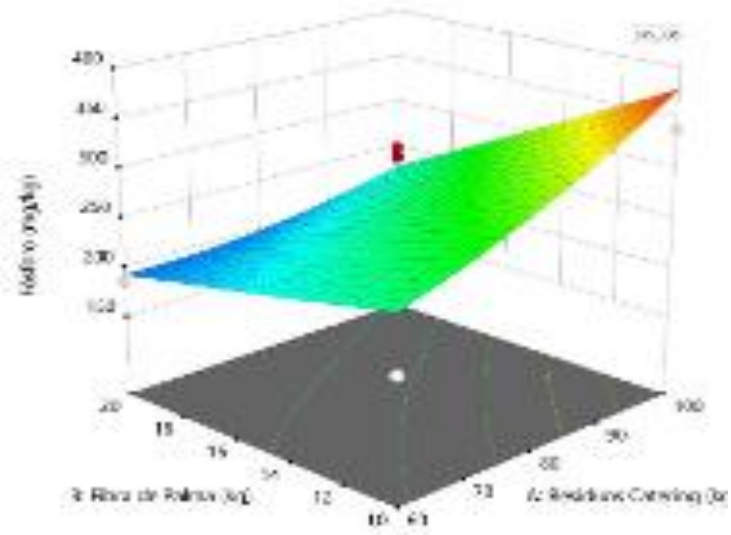


*Figura 13* Comportamiento del fósforo en función de las cantidades de los RC y de FPA.

De acuerdo con la figura 13, cuando hay una cantidad mínima de 60 kg de RC y 10 kg de FPA se obtiene una concentración de 166.89 mg/kg de fósforo en el compost final. Por el contrario, al establecer como máximo 100kg de RC y 20 kg de FPA se obtiene una concentración de 386.68 mg/kg de este elemento.

### 4.2.2 Dimensionamiento del sistema de compostaje

El diseño a gran escala del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en Plusambiente S.A se elaboró a partir del T1, considerado como el óptimo y adecuado de entre los 13 tratamientos evaluados. Por consiguiente, en la Tabla 11 se puede observar los parámetros de partida:

Tabla 11 *Parámetros de partida para el sistema de compostaje.*

| **Tipo de residuo** | **Cantidad experimental** | **Cantidad en 1 día (t)** | **Cantidad en 100 días (t)** | **Densidad ($t/m^3$)** | **Tiempo de degradación** |
|---|---|---|---|---|---|
| Catering | 100 | 0,4001 | 40,013 | 0,433 | 100 |
| Fibra | 10 | 0,0400 | 4,001 | 0,227 | 100 |
| Estiércol | 10 | 0,0400 | 4,001 | 0,70005 | 100 |
| **Total** | 120 | 0,4802 | 48,015 | 0,438 | 100 |

Por otra parte , en base a los criterios establecidos por el Ministerio del Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2013), los valores asignados para cada parámetro necesario en el diseño del sistema se observan en la Tabla 12 :

Tabla 12 *Parámetros y criterios para el dimensionamiento de las áreas del sistema de compostaje.*

| **Parámetro** | **Criterio** | **Unidad** | **Valor** |
|---|---|---|---|
| Base de la pila | 1.5 - 3 | m | 1.5 |
| Altura de la pila | 1.20 -1.80 | m | 1.46 |
| Longitud total de fila estándar de degradación | 10 - 15 | m | 10 |
| Ancho de las filas | - | m | 2 |
| Periodo de almacenamiento | - | Días | 14 |
| Altura de los residuos de catering dispersos | 0.2 - 0.4 | m | 0.2 |
| Altura de cribado | 1.5 | m | 1.5 |
| Altura de almacenamiento final | 2 | m | 2 |
| Ancho de los pasillos | 2 - 2.5 | m | 2 |

#### *4.2.2.1. Área de recepción de residuos de catering*

Está área se diseñó en función de la cantidades de residuos de catering receptados durante aproximadamente 10 días ya que la recepción de estos no es regular diariamente como se demostró el apartado 4.1, de tal forma esta área mantendrá una capacidad de recepción de alrededor de 4.001 t de residuos de catering. Por lo tanto, la misma deberá tener una superficie de 46.225 $m^2$, al igual que contará con una cubierta y con un suelo de concreto para evitar el ingreso de aguas lluvias, puesto que aquí se llevarán a cabo actividades como la clasificación, pesaje y almacenamiento temporal de los residuos de catering.

#### *4.2.2.2. Área para el acopio de los bultos de carga*

La superficie de esta área será de 6 $m^2$ y tendrá el acopio de 25 sacos de 14 kg de fibra de palma africana y tres tanques de 55 galones destinados a un almacenamiento previo de estiércol de ganado vacuno. De igual forma, en esta área se almacenarán otros insumos como la melaza que permite acelerar el proceso de degradación del compost al igual que la cal agrícola que funciona como un regulador del pH y a la vez contribuye al control de plagas. Por ello, esta área deberá contar una cubierta para evitar el humedecimiento de los bultos de carga y otros insumos anteriormente mencionados.

#### *4.2.2.3. Área de triturado*

Esta área ocupará un espacio de 6 $m^2$, aquí la máquina trituradora tendrá como objetivo reducir el tamaño de los residuos de catering después de la clasificación de estos, posteriormente culminando la etapa de maduración del compost, se deberá pasar el producto final nuevamente por la trituradora para garantizar la calidad del compost.

#### *4.2.2.4. Área para la degradación de los residuos*

Esta área contará con una superficie total de 310.191 $m^2$, aquí se procederán a montar 10.12 pilas triangulares de compost durante los 100 días del proceso de degradación, es decir 1 pila cada 10 días aproximadamente (9.98) por lo que cada una de ellas tendrá un área transversal de 1.095 m. Cada pila deberá tener un volumen de 10.95 $m^3$, con un volumen total de pilas en degradación de 109.640 $m^3$ y una longitud global de todas las pilas triangulares montadas de 100.127 m. El área total de las pilas en degradación será de 150.191 $m^2$ y área de pasillo entre pilas será de 20 $m^2$ teniendo un área total de pasillo entre pilas de 160 $m^2$.

Cada pila deberá voltearse cada cinco días luego de su montaje, al igual que deberán humedecerse en base a la necesidad de agua que lo requieran, teniendo en cuenta que el primer

riego se hará con 198.209 L de solución de melaza, levadura y agua, en la Tabla 13 se puede observar la cantidad de cada uno de estos elementos, de igual forma, a partir de allí se deberán humedecer periódicamente considerando un porcentaje del 50-60% de humedad (Bernal *et al*., 2009), lo cual también puede ser estimado en base a la prueba del puño (Ver anexo A), de igual forma, los monitoreos deberán realizarse periódicamente cada cinco días, controlando el pH, humedad, temperatura y conductividad, por otro lado, en la tabla 14 se puede observar la cantidad de residuos de catering, fibra y estiércol que deberá contener cada una de las pilas de compost.

Tabla 13 *Solución de agua, melaza y levadura para una pila de compost de 4.795 t.*

| Insumo | Cantidad | Unidad |
|---|---|---|
| **Solución total** | 198.21 | L |
| **Levadura** | 991.0488 | g |
| **Melaza** | 9.375 | L |
| **Agua** | 188.834 | L |

Tabla 14 *Composición en masa y volumen por unidad pila y totalidad del sistema de compost.*

| Material | Volumen ($m^3$) | | Masa (t) | |
|---|---|---|---|---|
| | Por pila | Total | Por pila | Total |
| **Residuos de catering** | 9.233 | 92.4517 | 3.996 | 40.013 |
| **Fibra** | 1.759 | 17.613 | 0.3996 | 4.0013 |
| **Estiércol** | 0.571 | 5.716 | 0.3996 | 4.0013 |
| **Total** | 10.95 | 115.779 | 4.795 | 48.015 |

De esta forma se estima que de las 48.015 t de residuos en degradación se verán reducidos en un 36.4% aproximadamente, de esta forma se quedarán 30.537 t de compost maduro para posteriormente pasar al proceso de cribado.

#### *4.2.2.5 Área de cribado*

El área de cribado ocupará un área total de 25.86 $m^2$, la misma deberá contar con una malla estática para realizar la separación correspondiente de los diferentes impurezas o elementos gruesos que no se hayan podido degradar en su totalidad, tal es el caso de restos de huesos, fundas y otros objetos plásticos que hayan evadido el proceso de separación y descomposición, etc. De esta forma la perdida por impurezas dentro de compost maduro es de alrededor de 3.649 t representando un estimado de 11.94% de impurezas o material no compostado. Por

consiguiente, 26.888 t de compost maduro serán devueltos al proceso de triturado para homogenizar el producto.

#### *4.2.2.6. Área de almacenamiento*

Una vez triturado el compost estable se dispondrán de 26.888 t como producto final, para lo cual será necesaria un área de almacenamiento de alrededor de 255.825 $m^2$, la misma deberá contar con la presencia de sacos y una máquina remalladora para cocer los mismos, de esta forma se generará el producto ya terminado y listo para su despacho, generándose así alrededor de 584,53 sacos de un quintal cada uno.

#### *4.2.2.7. Área total del sistema de compostaje*

El área total necesaria para el sistema de compostaje en Plusambiente S.A será de 453.13 $m^2$, lo cual está acorde a lo establecido por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMA y A, 2013), ya que allí se menciona que las plantas con una capacidad de volumen de residuos menor a 2 t/día contemplaran una superficie máxima de 3000 $m^2$. La misma será de tipo manual al no contar con grandes volúmenes de residuos de catering, por lo que la adecuación de maquinaria pesada o equipos de grandes avances tecnológicos no serán necesarios. Por consiguiente, en toda área del sistema de compostaje se debe llevar a cabo un control de plagas, en especial de moscas. Debido a que, durante la producción de compost, las moscas tienen a propagarse en grandes cantidades, por ello se requiere la colocación de trampas a base de melaza o a su la fumigación de insecticidas en bajas concentraciones para no afectar el proceso de compostaje.

#### *4.2.2.8. Control de lixiviados*

La cantidad total de residuos durante 100 días será de 48.015 t (tabla 12), se estimó que por cada tonelada se generará 60 litros de lixiviados debido al alto contenido de humedad de los residuos de catering. Por ello, la empresa Plusambiente S.A. deberá contar con sistema de recolección de lixiviados con una capacidad de 2.88 $m^3$. Los lixiviados recolectados podrán ser recirculados en el sistema de compostaje para humedecer las pilas de compost, debido a que poseen una alta concentración de nutrientes y sales minerales.

Por consiguiente, los resultados establecidos para cada uno de los parámetros correspondientes a las áreas del sistema de compostaje se encuentran resumidos en la tabla 15, mientras que el proceso productivo se encuentra representado en la figura 14:

Tabla 15 *Dimensionamiento de la propuesta del sistema de compostaje.*

| Área | Parámetro | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| **Área de recepción de residuos de catering** | | 46.225 | $m^2$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Área de triturado** | | 6 | $m^2$ |
| **Área para el acopio de los bultos de carga ($m^2$)** | | 6 | $m^2$ |
| **Área para la degradación de los residuos** | Volumen de la pila para la degradación ($m^3$) | 109.640 | $m^3$ |
| | Longitud de pilas triangulares | 100.127 | m |
| | Número de pilas a montar | 10.012 | - |
| | Área de pilas de degradación | 150.191 | $m^2$ |
| | Área de pasillos entre pilas | 20 | $m^2$ |
| | Área total de pasillos entre pilas | 160 | $m^2$ |
| | Área transversal de la pila | 1.095 | $m^2$ |
| | Área total de degradación | 310,191 | $m^2$ |
| **Área de cribado** | | 25.864 | $m^2$ |
| **Área de almacenamiento** | | 255.825 | $m^2$ |
| **Área total del sistema** | | **650.107** | **$m^2$** |

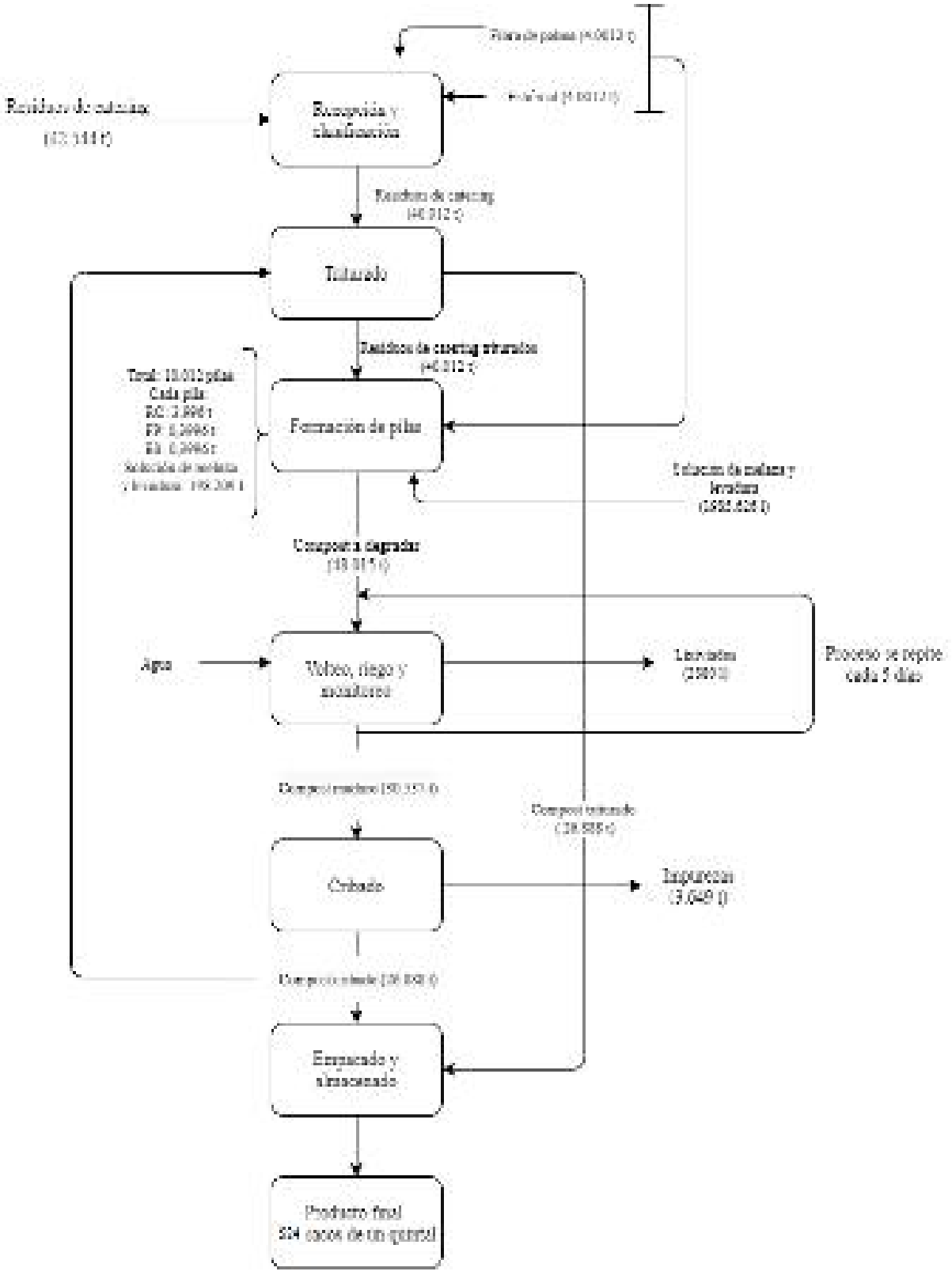



*Figura 14.* Diagrama de flujo del proceso productivo para la generación de compost en Plusambiente S.A

### 4.3. Viabilidad técnica-económica del sistema de compostaje para el aprovechamiento de los residuos de catering en Plusambiente S.A.

En el caso de implementar la propuesta desarrollada en este documento, el compost producido tendrá como mercado objetivo la comunidad agrícola existente en el cantón La Joya de los Sachas, ya que de acuerdo a Alulema (2020) el 59.93% de la población se dedica a esta actividad conjuntamente a la ganadería, caza, silvicultura y pesca. De esta forma, el 18.34% del suelo cantonal está ocupado por la agricultura extensiva. El producto saldría al mercado a competir contra los fertilizantes inorgánicos comerciales, lo cual lo colocaría por encima de ellos al considerarse de mejor calidad según Chowdhury et al. (2015), así podrá expenderse en los emprendimientos agropecuarios del lugar. Dado lo anteriormente expuesto se consideraron los costos y gastos asociados al proyecto para determinar su viabilidad técnica-económica.

#### 4.3.1. Costos

Para el desarrollo de la viabilidad técnica-económica se analizaron los costos de los insumos y materias primas, al igual que el de los activos fijos, el consumo de energía eléctrica, talento humano en planta y el costo de los servicios y otros gastos estimados para un ciclo de 100 días, por lo que en la tabla 16 se puede observar en resumen los gastos asociados a la implementación del proyecto.

Tabla 16 *Costos en dólares asociados al sistema de compostaje*

| Recursos | Costo total ($) |
|---|---|
| Insumos y materias primas | 1,360.259 |
| Activos fijos | 9,203 |
| Energía eléctrica | 80 |
| Talento humano | 3,181 |
| Servicios y otros gastos | 45.33 |
| **Total** | 13,869.58 |

Por consiguiente, se obtuvo un costo total de $ 13,869.58 para la inversión inicial, de esta forma la mayor cantidad de gastos vienen asociados a los activos fijos puesto que serán los recursos como equipos, maquinarias e instrumentos de primera necesidad para la puesta en marcha del proyecto. Los criterios considerados son frecuentes en proyectos de compostaje, pues para mostrar mayores facilidades en la evaluación económica, muchos proyectos no consideran el costo de compra de nuevos equipos o la inversión para desarrollar nueva infraestructuras, sino

que intentan considerar las condiciones e instalaciones del lugar de ejecución (Abdul Rahman *et al.*, 2020). En el Anexo B se puede observar de manera específica los elementos que forman parte de cada recurso al igual que la cantidad a considerar por cada uno de ellos considerando su depreciación a lo largo de su vida útil, de esta forma los egresos por cada ciclo de 100 días serán de $ 4,852 y anualmente de $ 17,712.92.

### 4.3.2. Ingresos

Los ingresos estimados por la venta de aproximadamente 584 quintales de compost son de $ 6,132 cada 100 días, de esta forma los ingresos anuales por la expedición del producto terminado serán de $ 22,381.8. Así al considerar la fórmula 14 se obtiene una ganancia neta de $ 4,668.88 anuales. Ver Anexo C.

### 4.3.3. Relación beneficio-costo

Este indicador arrojo un resultado de 1.26, por consiguiente, demuestra que los beneficios obtenidos por la venta de compost son superiores a los costos estimados para la producción de este, de tal forma es viable económicamente y por lo tanto debe ser considerada su puesta en marcha. Este valor de la relación beneficio/costo es similar a otros resultados de proyectos de compostaje, por ejemplo, en Selangor, Malasia, un proyecto de compostaje de residuos de jardín, presento valores entre 1.13 y 1.58, donde la principal incidencia en el ratio Beneficio/Costo fue las variaciones de precio en los mercados para comercializar el compost (Abdul Rahman *et al*., 2020).

### 4.3.4. Indicadores dinámicos

Los indicadores dinámicos que se analizaron partieron en base a los parámetros de partida establecidos en la tabla 17, de esta forma se consideró la inversión inicial estimada, al igual que una tasa de crecimiento y una tasa de interés de 1.05 y 0.1 respectivamente, considerado cinco años para el periodo de vida útil del proyecto, dado que Couth y Trois (2012) mencionan que un proyecto será más viable si se selecciona la opción de vida útil del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de 3 a 7 años.

Tabla 17 *Parámetros de partida para evaluación económica*

| Criterio | Valor |
|---|---|
| Inversión inicial | 13,869.58 |
| Periodo de vida útil del proyecto (años) | 5 |
| Tasa de crecimiento | 1.05 |
| Tasa de interés | 10% (0.1) |

#### *4.3.4.1 VAN*

Los resultados arrojados en la matriz de Excel estimaron que el proyecto en cuestión tiene un VAN de 5,509.01, de esta forma, al ser un valor positivo por encima de cero se considera un proyecto rentable económicamente, es decir que generará ganancias por encima de la tasa de interés y más allá del retorno del capital invertido inicialmente en el sistema de compostaje. De tal forma, en la tabla 18, se puede observar el cálculo del VAN para distintas tasas de interés, de tal forma, un interés superior al 25% no sería factible económicamente para el proyecto. Por otro lado, en el Anexo D se puede observar el cálculo estimado para este indicador económico en base a los cinco años de vida útil del proyecto.

Tabla 18 *VAN estimado en base a diferentes tasas de descuento*

| Tasa de descuento | VAN |
|---|---|
| 0% | $11,928.90 |
| 5% | $8,363.16 |
| 10% | $5,509.01 |
| 15% | $3,193.41 |
| 20% | $1,291.54 |
| 25% | $-288.10 |

#### *4.3.4.2 TIR*

Los resultados obtenidos mediante la ecuación 12 arrojan que la TIR tiene un valor de 24%, lo cual indica que es superior a la tasa de interés del 10% establecida en la tabla 17, por consiguiente, el interés equivalente sobre el capital generado por el proyecto en cuestión es superior al interés mínimo que exige la inversión inicial, de tal forma, el proyecto es aceptable y recomendable para su ejecución.

#### *4.3.4.3. PRI*

El periodo de recuperación de la inversión para el sistema de compostaje es de 2.84 años (dos años, 10 meses y 24 días), por consiguiente, son resultados positivos para el proyecto en cuestión. Al comparar con otros resultados presentados, por ejemplo, en la investigación de Cukjati *et al.*, (2012) muestran resultados similares, pues reportan plantas de compostaje que tienen períodos de recuperación de 2.9 años, de igual forma datos similares son los obtenidos por Hayes et al. (2016) en donde los resultados arrojan un PRI de aproximadamente 4 años para un estudio técnico-económico de factibilidad de un proceso de digestión-compost tipo garaje en tándem por lotes secos para entornos de campos de trabajo remotos en el norte de Alberta, Canadá, lo que denota que sistema de compostaje y el uso final del compost fue económicamente viable. Mientras, existen otros estudios donde los tiempos de recuperación

son superiores, puesto que la recuperación de la inversión puede llegar hasta 6-7 años, incluso para que algunos proyectos sean rentables, requieren subsidios (Lim *et al.*, 2016).

Sin embargo, otros estudios descritos en la revisión de Lim *et al.* (2016) mostraron que los sistema de compostaje en comparación con otros métodos de gestión de residuos orgánicos presentan mejor viabilidad económica. Incluso, en comparación con implementar sistemas de compostaje o considerar gastos para la gestión externa de los residuos el trabajo de Ruggieri *et al.*, (2009) realizado en España, refleja que es posible ahorrarse en el tratamiento hasta 19.56 euros por tonelada de residuos orgánicos si se utilizará el compostaje. En sistemas de gestión de residuos de alimentos en África, Couth y Trois (2012) reportan que el análisis costo-beneficio muestra que el sistema de compostaje aireado en hileras abiertas es una mejor opción en comparación con la disposición en vertederos contralados.

En el aspecto económico, el proceso es considerado sostenible, pues implican un menor costo operativo en comparación con otras opciones de gestión de residuos, y como mencionan Galgani *et al.,* (2014) el bajo costo involucrado en el sistema de compostaje está asociado a la baja complejidad técnica y los requisitos de capital que no son complejos de obtener para acometer estas inversiones. En resumen, es un difícil de determinar la viabilidad económica de un sistema de compostaje, ya que depende del costo de muchos parámetros, como el tipo de sistema de compostaje, el volumen de producción, las instalaciones y equipos existentes, las materias primas, y los precios del compost (que fluctúan por países y regiones) (Lim *et al.*, 2016).

# 5. CONCLUSIONES

- Se determinó un promedio de 425,44 kg/día de residuos de catering receptados en las instalaciones de Plus Ambiente S.A, de los cuales el 94.05% representó la fracción neta de residuos orgánicos, por lo que la cantidad de residuos a tratar dentro del sistema compostaje fue de 0.425 t/día.
- De los 13 tratamientos experimentales, el T1 fue el óptimo y adecuado presentando una clase tipo B, dado por obtener la relación C/N más baja con un valor de 30.54, y al presentar un contenido de nutrientes para N, Ca, P, Mg y K de 1.11%, 330.9 mg/kg, 339.9 mg/kg, 1.08% y 2.12% respectivamente.
- Por consiguiente, el área total del sistema de compostaje abarcó los 453.13 $m^2$, considerando también un espacio destinado para la recolección de lixiviados con una capacidad de 2.88 $m^3$ al estimar un aproximado de 60 L de lixiviados por cada tonelada de residuo tratado. De tal forma, el sistema contó con 6 áreas en total siendo de: recepción, acopio de bultos de carga, triturado, degradación, cribado y almacenamiento.
- Se diseñaron aproximadamente 10 pilas a tratar durante los 100 días del ciclo de degradación, cada una tendrá un peso aproximado de 4.795 t, la misma se conformará por 3.996 t de residuos de catering y 0.399 t tanto para la fibra de palma como para el estiércol. De esta forma, la cantidad total del compost a degradar será de 48.015 t, reduciéndose a 26.88 t al finalizar el proceso, por lo que se expenderá el producto en una sola presentación, obteniéndose aproximadamente 584 sacos de un quintal cada uno. Por consiguiente, la expedición de 268 quintales a $ 10.50 c/u generará $ 6,132, lo cual anualmente representó un valor de $ 22,381.8, de esta forma la diferencia entre los ingresos y egresos dio como ganancia neta anual un valor de $ 4,668.88.
- Los indicadores dinámicos dieron resultados positivos que permitieron calificar al proyecto como viable económicamente, para lo cual se consideró una tasa de interés del 10% y una vida útil de cinco años, puesto que los resultados arrojados por el VAN, la TIR y el PRI fueron de $ 5,509.01, 24% y 2.84 años respectivamente.

# 6. RECOMENDACIONES

- Es indispensable, que el personal en la planta de compostaje hago un uso adecuado del equipo de protección personal para así salvaguardar la salud del trabajador, de igual forma se recomienda que la empresa Plusambiente S.A establezca un área destinada a la hidratación, desinfección y lavado de manos de los trabajadores.
- Se aconseja llevar un estricto control de los parámetros fisicoquímicos de las pilas de compost durante sus cuatro fases de descomposición, para así garantizar buenos resultados y prevenir cualquier anomalía. Para ello, es necesario el uso de un medidor de multiparámetros de suelos.
- Se recomienda verter los lixiviados para humedecer las pilas, de igual forma sería importante realizar un estudio previo de este residuo que permita caracterizarlo físico y químicamente, por otro lado, también podría evaluarse otras alternativas para su tratamiento, como la digestión anaerobia para la producción de biogás.
- Valorar otras posibles técnicas de aprovechamiento para los residuos de catering receptados en las instalaciones de Plusambiente S.A como los métodos de conversión termoquímica: Pirolisis, gasificación, licuefacción o métodos de conversión bioquímica: digestión anaeróbica, fermentación, pila de combustible microbiana. Lo cual permitiría la obtención de productos bioenergéticos como el biogás, gas de síntesis, metano, hidrógeno, electricidad, etc., dirigidos a varios puntos de venta.
- Evaluar otras posibles mezclas modificando los ratios conjuntamente con los bultos de carga, considerando su disponibilidad en la zona.

## 7. REFERENCIAS


Abdul Rahman, M. H., Sadi, T., Ahmad, A., Masri, N., Mohammad Yusoff, M., & Kamaruddin, H. (2020). Inventory and composting of yard waste in Serdang, Selangor , Malaysia. *Heliyon*, *6(7)*(e04486). https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04486

Agencia de residuos sólidos de Cataluña. (2016). *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje.* Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf

AGROCALIDAD. (2018). *Instructivo Para Toma de Muestras Para Análisis Bromatológicos (INT/B/09).* AGROCALIDAD. http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/lab/02-INT-B-09-Tomade-muestras-para-an-lisis-bromatologicos-Rev-4.-Vigente.pdf

Agrocalidad. (2018). *Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola.*

Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofín Habana*, *12*, 322-343.

Alulema, J. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón La Joya de los Sachas. Versión preliminar*. Estudio Q3 Arquitectos Asociados.

Álvarez de la Puente, J. (2010). *Manual de compostaje para la Agricultura y Ecológia.*

Amigo Bazo, V. (2017). *Planta de compostaje en Autol* [Universidad de la Rioja]. https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002747.pdf

Arikan, O., Mulbry, W., Ingram, D., & Millner, P. (2009). Minimally managed composting of beef manure at the pilot scale: Effect of manure pile construction on pile temperature profiles and on the fate of oxytetracycline and chlortetracycline. *Bioresource Technology*, *100*(19), 4447-4453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.063

Ávila Ruiz, W. A., & Moyano Hernández, J. P. (2019). *Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 Ton/Día.* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15556/1/AvilaRuizWendyAndrea2019.pdf

Awasthi, M.K, Pandey, A. K., Khan, J., Bundela, P. S., Wong, J. W. C., & Selvam, A. (2014). Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste

composting. *Bioresource Technology*, *168*, 214-221. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.048

Awasthi, Muker Kumar, Pandey, A. K., Bundela, P. S., Won, J., & Zhang, Z. (2016). Composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal soild waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresource Technology, Vol 213*, 181-189. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.026

Ayomoh, M. K. O., Oke, S. A., Adedeji, W. O., & Charles-Owaba, O. E. (2008). An approach to tackling the environmental and health impacts of municipal solid waste disposal in developing countries. *Journal of Environmental Management*, *88*, 7. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.040

Bari, Q. H., & Koeing, A. (2012). Application of a simplified mathematical model to estimate the effect of forced aeration on composting in a closed system. *Waste Management, Vol 32*(11), 2037-2045. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.014

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol*, *100*, 5444-5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Bohórquez, A., Puentes, Y., & Menjivar, J. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, *15*(1), 73-81. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398

Bohórquez, A., Puentes, Y., & Menjivar, J. C. (2014). Evaluación de la calidad de compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azucar. *Corpoica Cien.Tecnol.Agropecu*, *Vol 15*(1), 73-81.

Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology, Vol 248*, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133

Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2016). Reducing nitrogen loss and salinity during «struvite» food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology*, *Vol 200*, 838-844. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.093

Chen, R., Wang, Y., Wang, W., Wei, S., Jing, Z., & Lin, X. (2015). N2O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of diary manure. *Journal of Environmental Management, Vol 160*, 121-127. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.021

Chowdhury, A., Konstantinou, F., Damati, A., Akratos, C., Vlastos, D., Tekerlekopoulou, A., & Vayenas, D. (2015). *Is physicochemical evaluation enough to characterize olive mill waste compost as soil amendment? The case of genotoxicity and cytotoxicity evaluation*. *93*, 94-102. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.029

Chukwudi, O., Onwosi, V., Igbokwe, J., Odimba Ifeanyichukwu, Eke, M., Nwankwoala, I., & Iroh, L. (2016). Tecnología de compostaje en la estabilización de residuos: Sobre los métodos. Desafíos y perspectivas futuras. *Environmental Management*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051

Coitiño, J., Barbazán, M., & Emst, O. (2016). Fertilización con potasio en soja: Asociación de la respuesta del cultivo con características edáficas y topográficas. *Agrociencia Uruguay*, *20*(2), 109-120. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200014&lng=es&tlng=es.

Couth, R., & Trois, C. (2012). Cost effective waste management through composting in Africa. *Waste Management, 32(12),* 2518-2525. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.042

Cukjati, N., Zupančič, G. D., Roš, M., & Grilc, V. (2012). Composting of anaerobic sludge: An economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. *Journal of Environmental Management, 106*, Pages 48-55. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.001

Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., & Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, *26*(1), 10.

El Universo. (2009, mayo 16). *En el país no se aprovechan desechos*. El Universo. https://www.eluniverso.com/2009/05/17/1/1447/C67B2926958E4ED7AD3A94F58C694E6A.html

FAO. (2015). *Pérdida y desperdicio de alimentos*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/

Farrell, M., & Jones, D. L. (2010). Food waste composting: Its use as a peat replacement. *Waste Management, 30*(8), 1495-1501. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.032

Fieschi, M., & Pretato, U. (2017). Role of compostable tableware in food service and waste management. A life cycle assessment study. *Elsevier, 73*, 14-25. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.036

Fusi, A., Guidetti, R., & Azapagic, A. (2016). *Evaluation of environmental impacts in the catering sector: The case of pasta*. *132*, 146-160. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.074

Galgani, P., Voet, E. der, & Korevaar, G. (2014). Composting, anaerobic digestion and biochar production in Ghana. Environmental–economic assessment in the context of voluntary carbon markets. *Waste Management*, *34*(December 2014), Pages 2454-2465. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.027

Galiwango, E., Abdel Rahman, N. S., Al-Marzouqi, A. H., Abu-Omar, M. M., & Khaleel, A. A. (2019). Isolation and characterization of cellulose and α-cellulose from date palm biomass waste. *Heliyon*, *5*(12), e02937. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02937

Gamarra, C. C. G., Díaz, M. I. D., de Ortíz, M. V., Galeano, M., & Cabrera, A. (2018). *Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo*. *9*(46), 23. https://doi.org/: https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134

Gomez, F., & Sartaj, M. (2014). Optimization of field scale biopiles for bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil at low temperature conditions by response surface methodology (RSM). *International Biodeterioration & Biodegradation*, *89*, 103-109. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.010

González, L. (2011). *Cómo hacer compost: Guía para amantes de la jardinería y el medio ambiente*. Mundi Prensa.

Hachicha, S., Sellami, F., Cegarra, J., Hachicha, R., Drira, N., Medhioub, K., & Ammar, E. (2009). Biological activity during co-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manure—Physico-chemical characterization of the processed organic matter. *Journal of Hazardous Materials*, *162*, 402-409. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.053

Hayes, A. C., Ekwe, S. E., Mervin, S., & Jenson, E. (2016). Techno-economic evaluation of a tandem dry batch, garage-style digestion-compost process for remote work camp environments. *Waste Management*, *58*, 70–80. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.043

Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, *24*(8), 805-813. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011

Igoni, A. H., Ayotamuno, M. J., Eze, C. L., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2008a). Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy*, *85*(6), 9. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.013

Igoni, A. H., Ayotamuno, M. J., Eze, C. L., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2008b). Design of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy, Vol 85*(6), 430-438. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.013

INEN- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016, febrero). *Norma técnica ecuatoriana: Fertilizantes y productos afines. Definiciones*.

INN-Instituto Nacional de Normalización. (2004). *Norma Chilena de compost 2880-2004 (NCh2880)*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2011). *Norma Técnica Colombiana NTC 5167—Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como fertlizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.*

Iqbal, M. K., Nadeem, A., Sherazi, F., & Khan, R. (2015). Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology. *International Journal of Environmental Science and Technology volume, 12*(1759–1768), 10.1007/s13762-014-0543-x. https://doi.org/10.1007/s13762-014-0543-x

Isaza, G., Pérez, M., Laines, C., & Castañón, G. (2009). *Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia organica*. *25*(3), 11.

Jiang, J., Liu, X., & Huang, Y. (2015). Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management, 39*, 78-85. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.025

Johnson, G. A., Qian, Y. L., & Davis, J. G. (2005). Effects of compost topdressing on turf quality and growth of Kentucky bluegrass. *Applied Turfgrass Science, Vol 3*. https://doi.org/10.1094/ATS-2006-0113-01-RS

Juárez, M. F., Prähauser, B., Walter, A., Insam, H., & Franke-Whittle, I. H. (2015). Co-composting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-process. *Waste Management, 46*, 155-164. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.015

Koivula, N., Räikkönen, T., Urpilainen, S., Ranta, J., & Hänninen, K. (2004). Ash in composting of source-separated catering waste. *Bioresource Technology, 93*(3), 291-299. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.025

Kulikowska, D. (2016). Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Management, 49*, 196-203.

Kumar, M., Ou, Y.-L., & Lin, J.-G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management, 30*, 602–609. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023

Kumar, S., & Singh, R. K. (2014). Optimization of process parameters by response surface methodology (RSM) for catalytic pyrolysis of waste high-density polyethylene to liquid fuel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *2*(1), 115-122. https://doi.org/doi:10.1016/j.jece.2013.12.001

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2008a). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, *Vol 72*(7), 1013-1019. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2008b). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, *72*(7), 1013-1019. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016

Lim, L. S., Lee, L. H., & YeongWu, T. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, *111*, 262-278. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083

Loayza, J., & Silva, V. (2013). *Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales*. 108-117.

MAE. (2016). *Programa 'PNGIDS' Ecuador – Ministerio del Ambiente y Agua*. Ministerio del Medio Ambiente y Agua. https://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/

Millner, P., Ingram, D., Mulbry, W., & Arikan, O. A. (2014). Pathogen reduction in minimally managed composting of bovine manure. *Waste Management*, *34*(11), 1992-1999. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.021

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). *Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.: Vol. Volumen 1*.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PNGIDS1.pdf

Mohee, R., Sewhoo, B., Rungasamy, S., Somaroo, G. D., & Mudhoo, A. (2015). Assessing the potential of coal ash and bagasse ash as inorganic amendments during composting of municipal solid wastes. *Journal of Environmental Management*, *Vol 159*, 209-217. https://doi.org/DOI:10.1016/j.jenvman.2015.05.008

Nakasaki, K., Tran, L. T. H., Idemoto, Y., Abe, M., & Rollon, A. P. (2016). Comparison of organic matter degradation and microbial community during thermophilic composting

of two different types of anaerobic sludge. *Bioresource Technology*, *Vol 100*(2), 676-682. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.046

Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., De, A., Martín, A. G., Muriedas, G. G., Labrador, C., Lacasta, C., Lezaún, J. A., Meco, R., Pardo, G., Solano, M. L., Torner, C., & Zaragoza, C. (2014). *Producción y gestión del compost*. CCMA. http://hdl.handle.net/10261/16792

Nozhevnikova, A., Mironov, V., Botchkova, E., Litti, Y., & Russkova. (2019). Composition of a microbial community at different stages of composting and the prospects for compost production from municipal organic. *Applied Biochemistry and Microbiology*, *Vol 55*(No 3), 199-208. https://doi.org/DOI:10.1134/S0003683819030104

Ogunwande, G. A., Osunade, J. A., Adekalu, K. O., & Ogunjimi, L. A. O. (2008). Nitrogen loss in chicken compost as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency. *Bioresource Technology*, *Vol 99*(16), 7495-7503. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.020

ONU. (2018). *Un tercio de los residuos de América Latina y el Caribe termina en basurales o en el medio ambiente*. UNEP - UN Environment Programme. http://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/un-tercio-de-los-residuos-de-america-latina-y-el-caribe

Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, *190*, 140-157. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051

Organización de las Naciones Unidas, D. de A. E. y S. (2017, junio 21). *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina.* http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *América Latina y el Caribe: Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional 2016: Sistemas alimentarios sostenibles para poner fin al hambre y la malnutrición* (Organización de

las Naciones Unidas para la Alimentaicón y Agricultura). Food & Agriculture Org. http://www.fao.org/3/a-i6747s.pdf

Parkinson, R., Gibbs, P., Burchett, S., & Misselbrook, T. (2004). Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour Technol, Vol 91*(2), 171-178. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00174-3

Pedreño, N., Herrero, M., Lucas, G., & Beneyto, M. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Espagrafic. https://www.researchgate.net/publication/235941169_Residuos_organicos_y_agricultura

Rastogi, M., Nandal, M., & Khola, B. (2020). Microbes as vital additives for soild waste composting. *Heliyon, Vol 6*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343

Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon, Vol 6*. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343

Ravindran, B., & Sekaran, G. (2010). Bacterial composting of animal fleshing generated from tannery industries. *Waste Management, Vol 30*(12), 2622-2630. https://doi.org/DOI: 10.1016/j.wasman.2010.07.013

Robles, C. (2012). *Costos históricos*. Red Tercer Milenio.

Román, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentaión y Agricultura. http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf

Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Palmas, 25*, 98-104.

Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., M.Gasol, C., Rieradevall, J., Gabarrell, X., & Gea, T. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production, 17*, Pages 830-838. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.12.005

Seng, B., Hirayama, K., Katayama-Hirayama, K., Ochiai, S., & Kaneko, H. (2013). Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia. *Journal of Environmental Management, 114*, 216-224. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.002

Sepúlveda Villada, L. A., & Alvarado Torres, J. A. (2013). *Manual de compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a traves de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá.* (Primera edición).

Sharma, D., & D. Yadav, K. (2017). Vermicomposting of Flower Waste: Optimization of Maturity Parameter by Response Surface Methodology. *Malaysian Journal of Sustainable Agricultural*, *1*(1), 15-18. https://doi.org/10.26480/mjsa.01.2017.15.18

Sharma, D., & Yadav, K. D. (2017). Bioconversion of flowers waste: Composting using dry leaves as bulking agent. *Environmental Engineering Research*, *22*(3), 237-244. https://doi.org/10.4491/eer.2016.126

Sharma, D., Yadav, K. D., & Kumar, S. (2018). Biotransformation of flower waste composting: Optimization of waste combinations using response surface methodology. *Bioresource Technology*, *270*, 198-207. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.036

Silvennoinen, K., Nisonen, S., & Pietiläinen, O. (2019). Food waste case study and monitoring developing in Finnish food services. *Waste Management, 97*, 97-104. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.028

Sistema Nacional de Información. (2020). *Información para la Planificación y Ordenamiento Territorial*. https://sni.gob.ec/web/inicio/descargapdyot

Statease. Inc. (2016). [Design-Expert] (version 11.1.2.0).

Sudharsan, V. V., & Kalamdhad, A. S. (2014). Evolution of chemical and biological characterization during thermophilic composting of vegetable waste using rotary drum composter. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *Vol 12*(6), 2015-2024. https://doi.org/DOI: 10.1007/s13762-014-0582-3

Sundberg, C., Smars, S., & Jonsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*, *Vol 95*(2), 145-150. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.016

Talero, G., Rincón, S., & González, A. (2017). Torrefacción de tusa y fibra de palma africana (Elaeis guineensis) procedente de los Llanos Orientales de Colombia. Determinación del efecto de la temperatura de torrefacción en las características de los productos. *Palmas*, *38*, 27-47.

Tayyab, A. (2019). Anaerobic co-digestion of catering food waste utilizing Parthenium hysterophorus as co-substrate for biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 9.

Tayyab, A., Ahmad, Z., Mahmood, T., Khalid, A., Qadeer, S., Mahmood, S., Andleeb, S., & Anjum, M. (2019). Anaerobic co-digestion of catering food waste utilizing Parthenium hysterophorus as co-substrate for biogas production. *Biomass and Bioenergy*, *124*, 74-82. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.03.013

Thamagasorn, M., & Pharino, C. (2019). An analysis of food waste from a flight catering business for sustainable food waste management: A case study of halal food production

process. *Journal of Cleaner Production*, *228*, 845-855. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.312

Turan, N. G. (2008). The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. *Bioresource Technology*, *99*, 2097-2101. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.061

Véliz-Jaime, M. Y., González-Diaz, Y., Martínez-Despaigne, Y., Véliz-Jaime, M. Y., González-Diaz, Y., & Martínez-Despaigne, Y. (2019). Evaluación técnica y económica del proyecto de obtención de aceites esenciales. *Tecnología Química*, *39*(1), 207-220.

Yang, F., Li, G., Shi, H., & Wang, Y. (2015). Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management, Vol 36*, 70-76. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012

Yang, Fan, Li, G., Shi, H., & Wang, Y. (2015). Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management*, *36*, 70-76. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012

Zhang, L., & Sun, X. (2014). Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, *171*, 274-284. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.079

Zhang, W. (2020). Increased abundance of nitrogen fixing bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in cattle manure and corn stover mix composting. *Waste Management*, 10.

## 8. ANEXOS

Anexo A

Prueba del puño

**Prueba de puño**

Se toma material de la mezcla en la mano y se oprime: el estado ideal es que se generarse una especie de agregado, el cual no debe escurrir más de una o dos gotas. Si por el contrario, el material está muy seco se desmorona en las manos y no se forma ningún agregado y quiere decir que le falta humedad. Cuando el material está muy húmedo escurrirá más de tres gotas y habrá que adicionarle material seco.





Figura A1 Prueba del puño

Anexo B

Tabla B1 *Análisis de costos del sistema de compostaje "Plusambiente S.A".*

**ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE "PLUSAMBIENTE S.A"**

| **Dimensión de la producción** | **Número de Ciclos:** | | | **1 ciclo** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Duración del ciclo:** | | | **100 días** | | | |
| | **Tipo de Costo** | | | | | | |
| **Rubro** | Fijo / Variable **F/V** | Visible / Escondido **V/E** | Directo/ Indirecto **D/I** | **Unidad** | **Cantidad** | **Costo unitario** | **Costo Total** |
| **Materia Prima e Insumos** | | | | | | | |
| Residuos de catering | F | V | D | t | 40.012 | 0 | 0 |
| Fibra de palma | F | V | D | t | 4.001 | 0 | 0 |
| Estiércol | F | V | D | t | 4.001 | 0 | 0 |
| Combustible | V | V | D | Gal | 165.1075 | 1.037 | 171.21648 |
| Melaza | F | V | D | Gal | 24.79 | 1.85 | 45.8615 |
| Levadura | F | V | D | kg | 9.92 | 11.4285 | 113.37072 |
| Cal agrícola | V | V | D | Quintal | 2 | 20 | 40 |
| Sacos | F | V | D | Unidad | 332 | 0.15 | 49.8 |
| Overol impermeable | F | V | D | Unidad | 80 | 8 | 640 |
| Guantes de nitrilo industriales | F | V | D | Unidad | 80 | 3.75 | 300 |
| **SUBTOTAL** | | | | | | | ***1360.2487*** |

| **Depreciación de activos fijos** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Valor** | **Vida útil** | **Ciclos de vida útil** | **Cantidad** | **Depreciación diaria** | **Costo Total** |
| Trituradora | 1689 | 15 | 54.75 | 1 | 30.85 | 30.85 |
| Motor eléctrico | 106 | 10 | 36.5 | 1 | 2.90 | 2.90 |
| Palas | 10 | 5 | 18.25 | 4 | 0.55 | 2.19 |
| Malla de cribado | 150 | 10 | 36.5 | 1 | 4.11 | 4.11 |
| Máquina remalladora | 125 | 6 | 21.9 | 1 | 5.71 | 5.71 |
| Tanque (55 galones) | 23 | 15 | 54.75 | 50 | 0.42 | 21.00 |
| Báscula | 120 | 10 | 36.5 | 1 | 3.29 | 3.29 |
| Bomba a mochila | 33 | 5 | 18.25 | 4 | 1.81 | 7.23 |
| Mangueras | 64 | 5 | 18.25 | 1 | 3.51 | 3.51 |
| Carretillas | 65 | 5 | 18.25 | 2 | 3.56 | 7.12 |
| Mascarillas de filtro | 45 | 5 | 18.25 | 1 | 2.47 | 2.47 |
| Motobomba | 270 | 5 | 18.25 | 1 | 14.79 | 14.79 |
| Escoba | 4 | 1 | 3.65 | 3 | 1.10 | 3.29 |
| Planta de producción | 5000 | 20 | 73 | 1 | 68.49 | 68.49 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Multiparámetro (pH. conductividad. temperatura y humedad) | 170 | 5 | 18.25 | 1 | | 9.32 | 9.32 |
| **SUBTOTAL** | | | | | | | **186.27** |
| **Consumo energía eléctrica** | | | | | | | |
| Factura de la actividad | V | V | D | kwh/día | 400 | 0.2 | 80 |
| **SUBTOTAL** | | | | | | | ***80*** |
| **Talento humano en planta** | | | | | | | |
| Trabajadores | F | V | I | salario/100 | 2 | 1333 | 2666 |
| Seguro trabajadores y Aporte patronal Seguro IESS | F | V | I | salario/100 | 2 | 257.5 | 515 |
| **SUBTOTAL** | | | | | | | **3181** |
| **Servicios y otros gastos** | | | | | | | |
| Permiso de funcionamiento | F | V | I | año | 1 | 22 | 1.83 |
| Botellón de agua | V | E | D | Mensual | 29 | 1.5 | 43.50 |
| **SUBTOTAL** | | | | | | | **45.33** |
| | | | | | | | 4852.86 |

Anexo C

Tabla C1 *Gastos, ingresos, ganancias y relación B/C estimados por la producción de compost durante un ciclo de 100 días y anualmente.*

| **Dimensión de la Producción:** | **Número de Ciclos:** | | **1 ciclo** |
|---|---|---|---|
| | **Duración del ciclo:** | | **100 días** |
| **Rubro** | **Unidad** | **Cantidad** | **Precio Venta** | **Ingreso Total** |
| **Productos terminados** | | | | |
| Compost Plusambiente S.A. | Quintal | 584 | 10.50 | **6132** |
| **SUBTOTAL** | | | | **6132** |

| **Gastos** | **Ingresos** | **Ganancia** |
|---|---|---|
| 17712,92 | 22381,8 | 4668,88 |

| **Relación beneficio/costo** |
|---|
| 1.2635 |

Anexo D

Tabla D1 *Cálculo del VAN en la matriz de Excel.*

| **Año** | **FNE** | **(1+i)^n** | **FNE/(1+i)^n** |
|---|---|---|---|
| 0 | -13869.58203 | | -13869.58203 |
| 1 | 4668.88 | 1.1 | 4244.432352 |
| 2 | 4902.32 | 1.21 | 4051.503609 |
| 3 | 5147.44 | 1.331 | 3867.344354 |
| 4 | 5404.81 | 1.4641 | 3691.555974 |
| 5 | 5675.05 | 1.61051 | 3523.757975 |
| | VAN | | 5509.012234 |