

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE TRES CONCENTRACIONES DE UREA, COMO FUENTE DE NITRÓGENO PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES DE PLANTAS ORNAMENTALES, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA FINCA PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA, C.A.

NURY DANIELA MARTINEZ MAGAÑA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN PALKI S.A., SAN JERÓNIMO, BAJA
VERAPAZ, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

NURY DANIELA MARTINEZ MAGAÑA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR EN FUNCIONES
M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	Br. Carmen Aracely García Pirique
VOCAL V	Pr. Agr. Mynor Fernando Almengor Orenos
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Aroldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2021

Guatemala, septiembre 2021

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

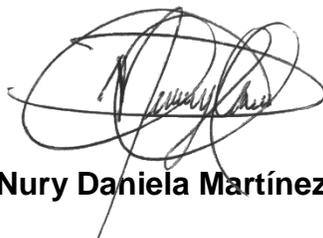
Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: “Evaluación de tres concentraciones de urea, como fuente de nitrógeno para producción de abono orgánico a partir de residuos vegetales de plantas ornamentales, diagnóstico y servicios realizados en la finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.” como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nury Daniela Martínez Magaña', written over a circular scribble.

Nury Daniela Martínez Magaña

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por el amor incondicional y por permitirme llegar a este momento para darle la honra y gloria.

MIS PADRES

Juan Carlos Martinez y Nury Magaña por ser mi guía y siempre llenar mi vida de amor. Por estar ahí cada vez que me caigo y ser quienes me levantan, me limpian las heridas y me animan a seguir.

MI HERMANO

Juan Carlos Martínez por ser esa persona que siempre ha estado incondicionalmente para mí.

LUCIA LOPEZ

Gracias por ser el ángel que Dios puso en el camino de mi familia para cuidarnos y amarnos.

MIS AMIGOS

Mónica Zepeda por ser la mejor amiga que Dios me pudo dar. Astrid Fuentes, Ana Chaclan, Mirna Ajanel, Harley Tichoc, Pit Perez, Cante, Adriana Montejo y Cristy de Leon por ser mis compañeros y amigos de desvelos, risas y llanto. Gabriela Son y Delia Felipe por convertirse en mi familia.

FAMILIA

HERNANDEZ

OROZCO

Por convertirse en mi segunda familia.

ALFONSO RIVERA

Por el amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Fredy Hernández Ola, Ing. Agr. Cesar García Por su apoyo en el desarrollo de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno Por el apoyo en mi desarrollo profesional.

Palki S.A. al gran equipo de San Jerónimo por abrir las puertas para realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado, además del apoyo, confianza, paciencia y aprendizaje.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	PÁGINA
1.1 PRESENTACIÓN	3
1.2 MARCO REFERENCIAL.....	4
1.2.1 Antecedentes	4
1.2.2 Ubicación geográfica y vías de acceso.....	4
1.2.3 Relieve y fisiografía.....	4
1.2.4 Clima y zonas de vida.....	5
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 General.....	6
1.3.2 Específicos	6
1.4 METODOLOGÍA	6
1.4.1 Estado actual de desechos sólidos.....	6
1.4.2 Matriz de priorización de problemas	7
1.4.3 Evaluación “ex ante”	7
1.5 RESULTADOS.....	8
1.5.1 Estado actual de desechos sólidos.....	8
1.5.2 Priorización de problemas	15
1.5.3 Evaluación “ex ante”	17
1.6 CONCLUSIONES	18
1.7 RECOMENDACIONES	18
1.8 BIBLIOGRAFÍA.....	19
2.1 PRESENTACIÓN	21
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	23
2.2.1 Ventajas del compostaje.....	24
2.2.2 Desventajas del compostaje.....	24
2.2.3 Pilas de compostaje.....	25
2.2.4 Materia prima	28

	PÁGINA
2.2.5	Proceso de compostaje..... 29
2.2.6	Fases de descomposición del compostaje 37
2.2.7	Urea 38
2.3	OBJETIVOS 41
2.3.1	Objetivo general 41
2.3.2	Objetivos específicos 41
2.4	METODOLOGÍA 41
2.4.1	Relación C:N de desechos orgánicos iniciales 41
2.4.2	Concentración de urea para transformación de desechos orgánicos..... 42
2.4.3	Relación C:N 46
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 47
2.5.1	Verificación de la relación C:N de los desechos orgánicos..... 47
2.5.2	Establecimiento de la concentración de urea adecuada que muestre influencia sobre los factores temperatura y pH..... 51
2.5.3	Relación C:N 57
2.6	CONCLUSIONES 61
2.7	RECOMENDACIONES..... 62
2.8	BIBLIOGRAFÍA 63
2.9	PRESENTACIÓN..... 70
2.10	Servicio 1: Sistematización de curvas de crecimiento en el área de cactus, finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A. 72
2.10.1	Objetivos..... 72
2.10.2	Metodología 72
2.10.3	Resultados..... 74
2.10.4	Evaluación del servicio..... 76
2.11	Servicio 2: Sistematización de curvas de crecimiento en el área de <i>Beaucarnea guatemalensis</i> , finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A..... 77

PÁGINA

2.11.1	Objetivo	77
2.11.2	Metodología.....	77
2.11.3	Resultados	78
2.11.4	Evaluación del servicio	80
2.12	Servicio 3: Conteo y recolección de desechos orgánicos en la finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.....	81
2.12.1	Objetivo	81
2.12.2	Metodología.....	81
2.12.3	Resultados	82
2.12.4	Evaluación del servicio	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Proceso de producción de cactus.....	9
Figura 2. Proceso de producción de <i>B. Guatemalensis</i>	10
Figura 3. Proceso de Propagación de suculentas.	12
Figura 4. Diagrama de desechos generados en la finca Palki.	13
Figura 5. Gavetas para depósito de residuos vegetales.	14
Figura 6. Vertedero de desechos orgánicos.	15
Figura 7. Movimiento de aire en la pila.	27
Figura 8. Corrientes de flujo y energía del proceso.	30
Figura 9. Comportamiento de los parámetros temperatura, oxígeno y pH durante el proceso de compostaje.	32
Figura 10. Importancia de la relación C:N en la mezcla inicial de materiales.	36
Figura 11. Pasos para la mineralización de nitrógeno en el suelo.....	40
Figura 12. Formación de pilas de compostaje con medidas que se utilizaron para llevar a cabo las unidades experimentales.	43
Figura 13. Distribución de los tratamientos en campo.....	44
Figura 14. Comportamiento de la temperatura por tratamiento durante el proceso de compostaje.....	52
Figura 15. Comportamiento de la pH por tratamiento durante el proceso de compostaje.	55
Figura 16. Clasificación de las curvas de crecimiento realizada en el área de cactus.	74
Figura 17. Medición de variables: grupo A y B altura, grupo C diámetro	75
Figura 18. Toma de datos de altura y diámetro de bulbo en <i>B. guatemalensis</i>	79
Figura 19. Volumen por mes de desechos orgánicos producidos por área.	82

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Matriz de priorización de problemas.	16
Cuadro 2. Resumen de matriz de priorización de problemas.	16
Cuadro 3. Análisis <i>ex-ante</i> del compostaje	17
Cuadro 4. Materiales ricos en carbono y nitrógeno utilizados como materia prima para compostaje.	28
Cuadro 5. Volumen de desechos orgánicos producidos por mes para la clasificación de cultivos de la finca.....	47
Cuadro 6. Análisis de laboratorio realizado para <i>Beaucarnea guatemalensis</i> , suculentas y cactus.....	48
Cuadro 7. Composición nutricional de <i>Beaucarnea guatemalensis</i> , suculentas y cactus.	48
Cuadro 8. Relación C:N de la mezcla final utilizando <i>Beaucarnea guatemalensis</i>	50
Cuadro 9. Análisis de varianza para el tiempo vs la temperatura.	53
Cuadro 10. Prueba de medias de Tukey para la temperatura.	53
Cuadro 11. Análisis de varianza de tres diferentes niveles de nitrógeno, respecto a variable de respuesta pH.....	57
Cuadro 12. Resultado de análisis de laboratorio de los tratamientos 1 y 3 realizado en el laboratorio.	58
Cuadro 13. Resultado de análisis de laboratorio para los tratamientos 1 y 3 para macroelementos.	60

Evaluación de tres concentraciones de urea, como fuente de nitrógeno para producción de abono orgánico a partir de residuos vegetales de plantas ornamentales, diagnóstico y servicios realizados en la finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.

RESUMEN

Palki es una empresa 100 % guatemalteca inspirada en la naturaleza, caracterizada por tener sólidos valores como ser honesto, respeto a la naturaleza y al ser humano, ser proactivos y buscar la eficiencia.

La empresa nació en 1984 como una empresa exportadora de *Yucca guatemalensis* y *Beaucarnea guatemalensis*. Desde entonces el izote y pony han sido las plantas pilares que han permitido demostrar la calidad a nivel internacional, creando relaciones de confianza y aprendizaje con los clientes.

El diagnóstico se realizó evaluando los desechos sólidos producidos en cada una de las áreas productivas evaluando los principales problemas a los que se enfrenta la finca en el área de producción y manejo de desechos orgánicos. Por lo que se realizó una matriz de priorización de problemas y un análisis FODA del principal problema priorizado en la matriz.

Durante el desarrollo del diagnóstico se evaluó que uno de los principales problemas es el manejo de desechos orgánicos por lo que desarrolló la evaluación de tres concentraciones de urea, como fuente de nitrógeno para producción de abono orgánico a partir de residuos vegetales de plantas ornamentales en la finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A. En la cual se evaluaron las concentraciones utilizando un 10 %, 20 % y 30 % de urea y tratamiento testigo en el cual no se utilizó urea para comparar el comportamiento de los tratamientos. Por otro lado, los servicios consistieron en la realización de bases de dato de crecimiento para diferentes cultivos producidos por la finca y el comportamiento promedio de los desechos orgánicos producidos.

CAPÍTULO I

**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE DESECHOS ORGÁNICOS EN LA
FINCA PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA, C.A.**

1.1 PRESENTACIÓN

Palki es una empresa guatemalteca dedicada a la producción y comercialización de ornamentales a países como Holanda, Estados Unidos, Canadá, entre otros. A partir de la producción se generan desechos tanto orgánicos como inorgánicos, lo cual genera contaminación ambiental si no se lleva a cabo un proceso de reciclaje.

Se conoce por desecho sólido a todo material que resulta de cualquier proceso u operación que está destinado al desuso, que no vaya a ser utilizado, recuperado o reciclado. Los desechos orgánicos se pueden clasificar para fines prácticos en orgánicos e inorgánicos, lo cual permite usar diferentes técnicas de reciclaje para reducir la contaminación. Por lo que es importante conocer el estado actual, tanto en procesos productivos de la finca y los desechos generados en cada uno de ellos para generar estrategias de manejo y control.

Es importante resaltar que para el diagnóstico se utilizaron técnicas como la matriz de priorización de problema y un análisis FODA del problema priorizado con el fin de conocer las ventajas y desventajas de afrontar este problema. El cual se determinó que es el manejo de desechos orgánicos, debido a que únicamente para el cultivo de *B. guatemalensis*, anualmente son exportados alrededor de 1, 500,000, lo cual genera desechos entre los cuales se encuentran hojas y raíces, lo que se traduce en alrededor de 5 m³ de desechos diariamente.

En la actualidad, el proceso de almacenamiento se realiza en cada área por medio de gavetas, las cuales semanalmente son recogidas para su deposición final en un vertedero que no recibe ningún tratamiento, lo cual genera contaminación ambiental. Por lo que se hace necesario tomar en cuenta que el manejo de estos desechos como una forma de reciclaje permite la reutilización y por ende una disminución de la contaminación.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Antecedentes

Palki, S.A es una empresa guatemalteca, dedica a la producción de ornamentales como *Yucca guatemalensis* más conocida como Izote, *Beaucarnea guatemalensis* (Pony), *Cyca Revoluta*, *Sansevieria spp*, suculentas y cactus, dedicados a la venta local y exportación a Europa, Asia, Estado Unidos y Holanda.

El nombre Palki surgió de la palabra de la lengua maya que significa izote, tiene 33 años de estar trabajando principalmente con pony e izote. Actualmente cuentan con dos fincas en Salamá dedicadas a la producción de estos cultivos, en Escuintla a la producción de la *Cyca Revoluta* y *Sansevieria spp*, incluyendo 10 ha de cultivos de mango y en Cobán cuentan con 70 ha con una diversidad de especies forestales.

1.2.2 Ubicación geográfica y vías de acceso

La finca de Palki S.A., está ubicada en el km 146 Carretera el atlántico, San Jerónimo Baja Verapaz, con coordenadas 15°3'55" latitud norte y 90°15'33" longitud oeste y a 1,000 m s.n.m.

La vía de acceso es a través de la ruta nacional que tiene acceso tanto al municipio de San Jerónimo como a la cabecera departamental Salamá que son calles asfaltadas transitables todo el año. Además, existe acceso por la carretera de la aldea el Cacao que es de terracería transitable en época seca.

1.2.3 Relieve y fisiografía

Se presenta un relieve constituido por laderas de pendiente fuertes (12 % a 55 %) en la finca no se encuentra ningún sistema montañoso.

1.2.4 Clima y zonas de vida

San Jerónimo cuenta con varias zonas de vida, la de mayor representatividad es el denominado bosque húmedo subtropical seco.

La temperatura máxima es de 38 °C, la temperatura oscila entre los 20 °C y 26 °C. Los meses más calurosos son de marzo a mayo en los cuales se registra la máxima y los meses menos calurosos son de noviembre a enero.

La dirección predominante del viento, en la región es noreste, suroeste; corren paralelamente a la ruta a las Verapaces, la velocidad promedio es de 55 km/h y en la época de marzo y abril aumenta significativamente la velocidad, pero siempre en la misma dirección.

La precipitación pluvial mínima es de 1 mm y la máxima es de 489 mm/h, con un promedio h/anual de 1,585.5 mm durante 130 días al año, la humedad relativa es de 72 % y la evapotranspiración 127 %.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Conocer el estado actual de la finca Palki, en cuanto al manejo de desechos sólidos, con el propósito de sistematizar los procesos de recolección, manejo, clasificación y tratamiento.

1.3.2 Específicos

1. Conocer el estado actual de la finca Palki en cuanto al manejo de desechos sólidos.
2. Establecer un diagrama de los problemas en el manejo de desechos en la finca Palki.
3. Realizar una evaluación "ex-ante" del principal problema priorizado, para tratar de comparar ventajas e inconvenientes.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Estado actual de desechos sólidos

En esta se realizó una síntesis de la recolección de información primaria y secundaria, en los principales procesos que se realizan desde la producción hasta la venta de los principales productos que posee Palki y todos los residuos tanto orgánicos como inorgánicos que se generan en dicha finca, además del manejo que se realiza actualmente.

En la fase de campo se realizaron las siguientes actividades:

- Entrevista a encargados de producción y gerente de producción con preguntas referentes al manejo y clasificación que realizan de los desechos

- Observación se utilizó en las áreas de campo y se hizo un reconocimiento de los puntos donde es depositados los residuos de cosecha, entre otros.

1.4.2 Matriz de priorización de problemas

Al identificar los problemas más importantes, se realizó una matriz a dos entradas, en la cual se identifica el problema 1 y el problema 2 y se propone cual es el más importante o de mayor urgencia entre esos dos problemas. Se cuenta cuantas veces aparece en la matriz y se ordenó por orden de frecuencia. El problema que apareció más veces es el de mayor importancia. Se realizó de esta forma debido a que la comparación por pares es menos subjetiva que cualquier otro método de priorización.

1.4.3 Evaluación “ex ante”

Se estableció en forma de lluvia de ideas cuatro series de características las cuales son fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Esto como medio para la evaluación de la alternativa priorizada, para comparar ventajas e inconvenientes. Además, que se presenta en un esquema muy simplificado.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Estado actual de desechos sólidos

A. Cactus

El proceso de producción de cactus consiste en cinco fases (figura 1), en las cuales se realizan diferentes actividades para promover el crecimiento, entre las cuales se encuentra el control de arvenses, riego, fertilización, aplicación de insecticidas y fungicidas para el control de plagas y enfermedades.

La fase G1 consiste en la germinación de las diferentes especies de cactus que son cultivadas de acuerdo con los requerimientos del mercado. Posteriormente la planta puede tomar tres diferentes destinos dependiendo principalmente del tamaño alcanzado durante la fase G1. La fase G2 se refiere al trasplante a una maceta de un diámetro de 5.5cm en la cual lleva un proceso diferente, la G1.5 son todas las plantas que no logran llegar a la especificación establecida para el trasplante por lo que siguen en un proceso de crecimiento en bandejas, para posteriormente pasar a la fase G2.

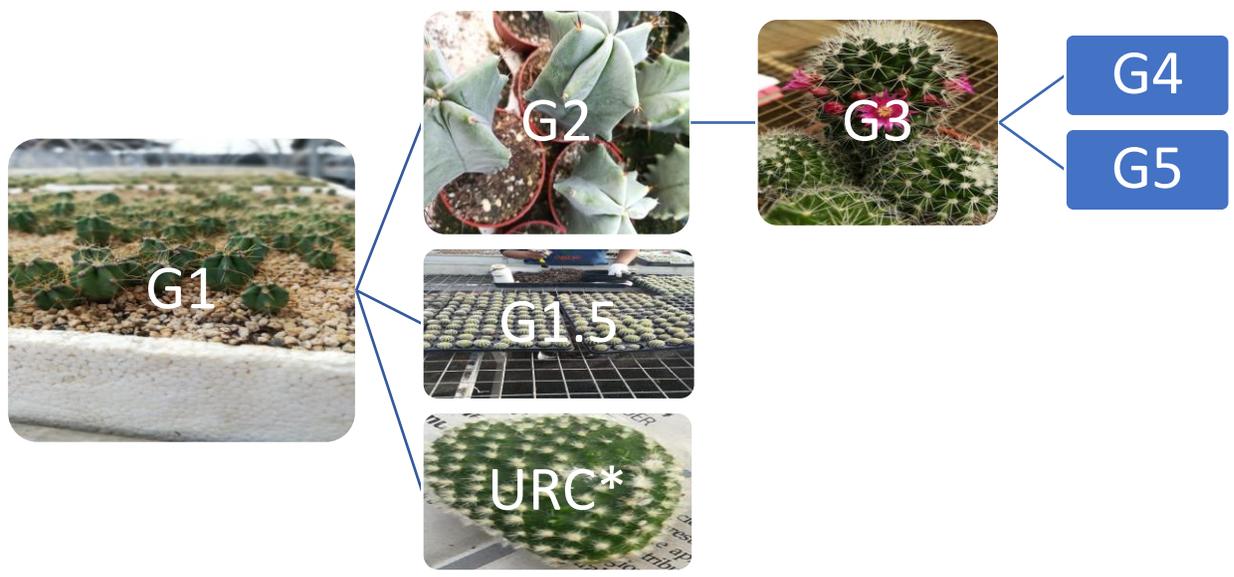


Figura 1. Proceso de producción de cactus

Fuente: elaboración propia, 2019

Mientras que URC se refiere a los cortes sin raíz que se realizan para exportación. La fase G3, G4 Y G5 consiste en el trasplante a una maceta de diferente tamaño dependiendo del crecimiento alcanzado al finalizar el procesos y requerimientos del mercado.

B. *B. guatemalensis* (pony)

Para el proceso de producción de *B. guatemalensis*, se describe en la figura 2

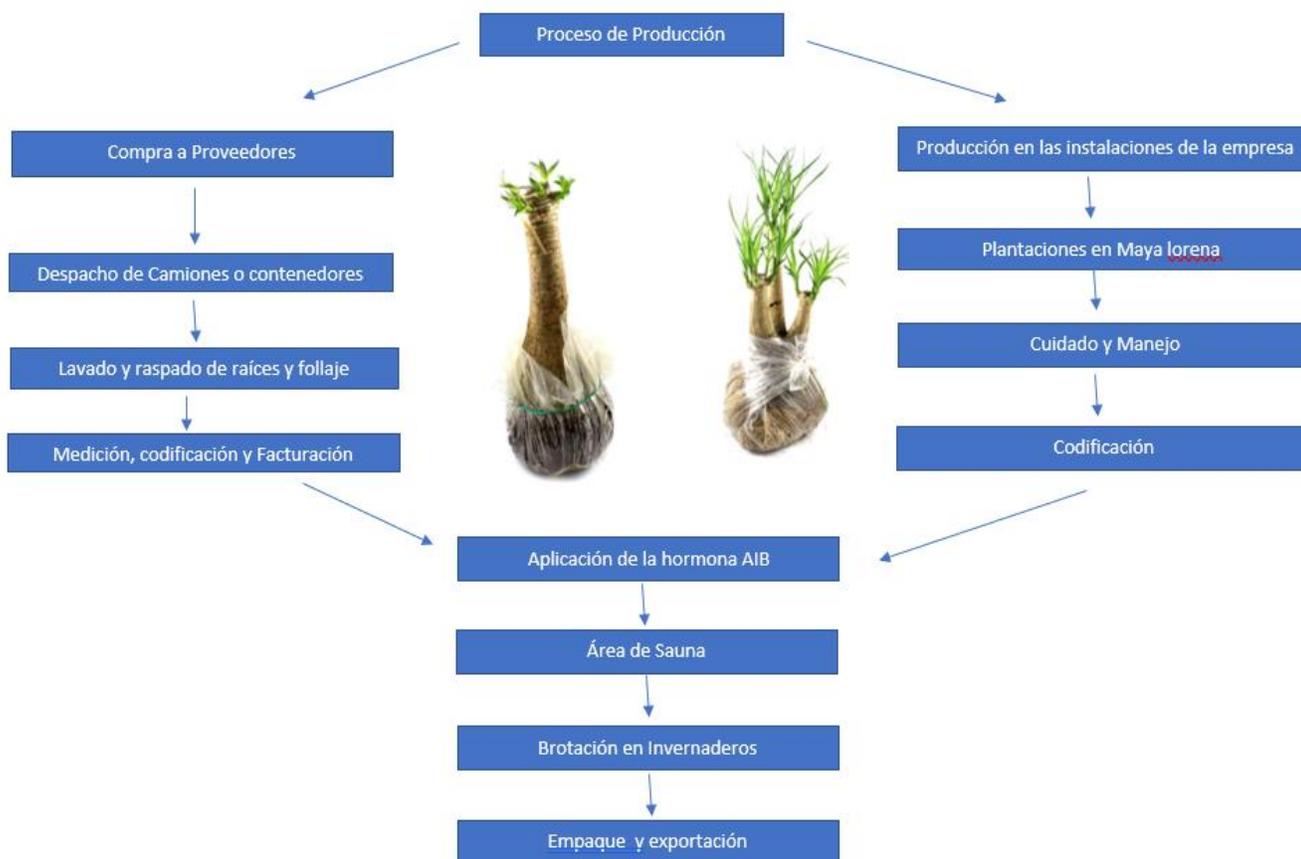


Figura 2. Proceso de producción de *B. Guatemalensis*

Fuente: elaboración propia, 2019.

Para el proceso de Germinación se describe en las siguientes fases:

1. Germinación: Esto ocurre aproximadamente a partir de las primeras 12 semanas, algunas metodologías realizadas es la desinfección de bandejas, llenado de bandejas y colocación en las camas, riego y desinfección de semilla, desmalezado, monitoreo de insectos, crecimiento, control de temperatura y humedad relativa, entre otras actividades.

2. Crecimiento: Esto ocurre a las 14 semanas aproximadamente, realizando las siguientes actividades: desinfección de sustratos para el trasplante, para ello se utilizan diferentes sustratos como aserrín y fibra de coco, limpieza y desinfección de camas, llenado de macetas. El sistema de riego utilizado es por aspersión, desinfección de las plantas y finalmente siembra en macetas.
3. Adaptación: Este se realiza aproximadamente en 4 semanas donde las actividades que se realizan es el traslado de la planta, el control del riego y humedad relativa, desmalezado, fertilización, control de plagas y enfermedades, selección de plantas y envío de las plantaciones.

C. *Sansevieria spp*

Para la producción de *Sansevieria spp.* se realiza a campo abierto por medio de planta madre, dando un mantenimiento al cultivo por medio de riego, fertilización, control de plagas y enfermedades. La siembra de este cultivo se realiza al tresbolillo en camellones de 90 cm y 30 cm entre calle. La productividad esperada en este cultivo es de seis hijos por planta madre para realizar la cosecha que es clasificada para dos procesos que son exportación y reproducción.

El proceso de postcosecha comienza con la clasificación de las plantas por altura por medio de escalas establecidas de acuerdo con los requerimientos del mercado. Además, se realiza un saneo de hojas y plantas dañadas. Posteriormente se hace un corte de raíces y se lava para evitar que tenga residuos de suelo proveniente de campo. Después de este proceso se realiza la siembra en macetas tomando en cuenta las especificaciones del cliente y se procede a la fase de enraizamiento, en la cual se aplican diferentes productos que aceleren este proceso.

D. Suculentas

El proceso de producción de suculentas se lleva a cabo por dos medios, a partir de planta madre y en camas. A continuación, se ilustra el proceso.

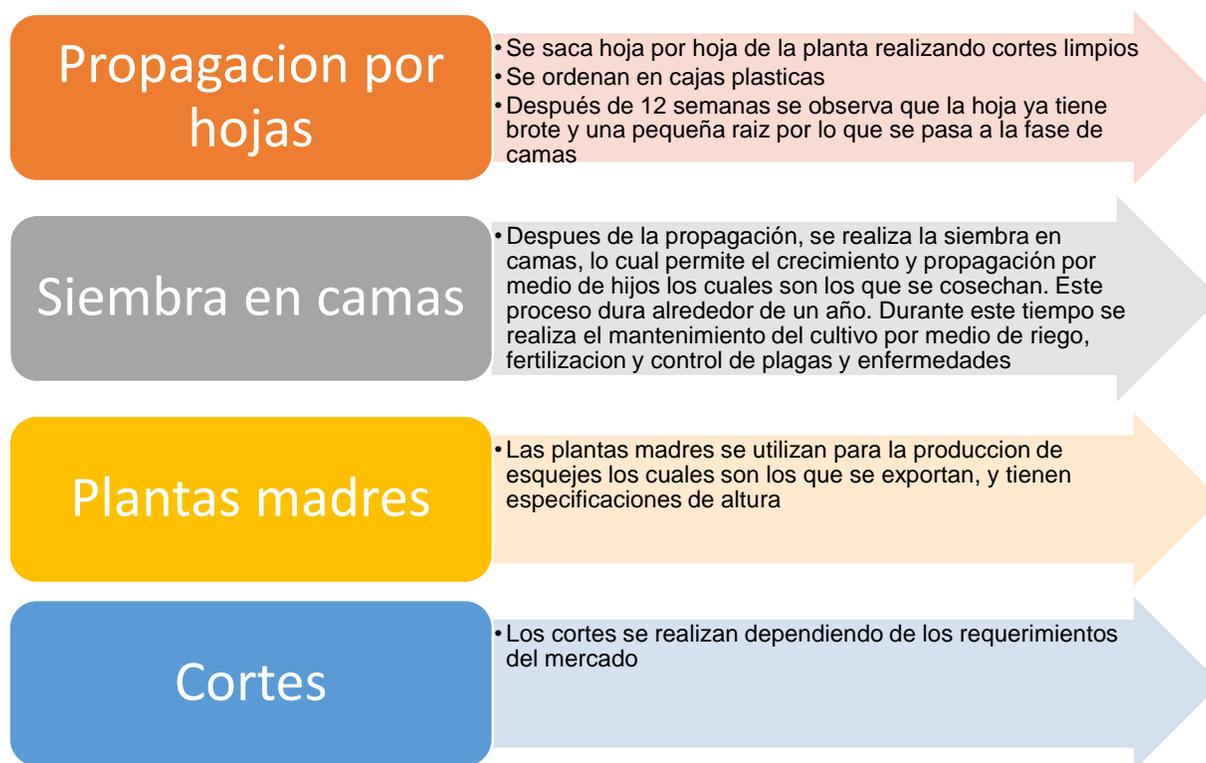


Figura 3. Proceso de Propagación de suculentas.

Fuente: elaboración propia, 2019.

E. Residuos generados y almacenamiento

Los residuos generados principalmente son de los cultivos descritos anteriormente, entre los cuales se encuentran residuos vegetales provenientes del proceso de postcosecha y saneo, entre los cuales se encuentran hojas, tallos y sustrato (figura 4). Entre los plásticos

se encuentran los frascos de los químicos, el cual es almacenado y llevado a un centro de reciclaje, para su posterior tratamiento.

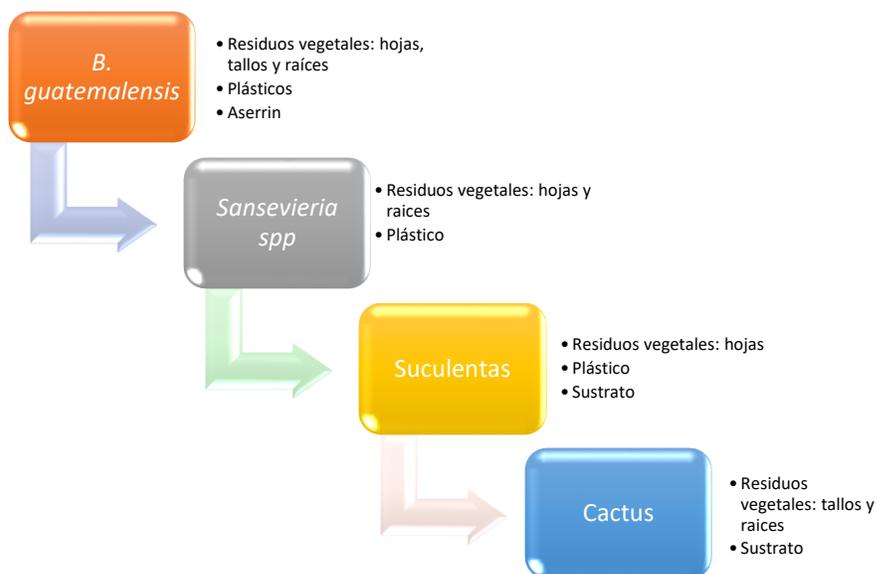


Figura 4. Diagrama de desechos generados en la finca Palki.

Fuente: elaboración propia, 2019.

Los residuos son almacenados en gavetas como se muestra en la figura 5, las cuales se encuentran en cada área de producción, lo que facilita la limpieza de áreas y depósito de residuos para el personal a cargo .



Figura 5. Gavetas para depósito de residuos vegetales.

Fuente: elaboración propia, 2020.

F. Recolección y transporte

La recolección de materiales es realizada por medio de un camión que semanalmente recoge los desechos de las gavetas y posteriormente es llevada a un vertedero a campo abierto que se encuentra dentro de la finca (figura 6).



Figura 6. Vertedero de desechos orgánicos.

Fuente: elaboración propia, 2019

1.5.2 Priorización de problemas

Para el análisis de la problemática se utilizó una de las herramientas que se encuentran en el libro de 80 herramientas para el desarrollo participativo la cual fue matriz de priorización de problemas (cuadro 1). Durante este proceso se determinó junto con el gerente de producción que el problema más importante en el manejo de desechos sólidos es la falta de un proceso de reciclaje a los desechos del proceso de cosecha y postcosecha, lo cual podría ser aprovechado como una fuente para realizar abonos orgánicos y utilizarlo en los campos de cultivo de *B. guatemalensis*.

Cuadro 1. Matriz de priorización de problemas.

Problemas	Manejo de Desechos orgánicos	Clasificación de residuos	Control de residuos orgánicos producidos
Manejo de Desechos orgánicos		Manejo de desechos orgánicos	Manejo de desechos orgánicos
Clasificación de residuos orgánicos			Clasificación de residuos
Control de residuos orgánicos producidos			

Fuente: elaboración propia, 2019

En el cuadro 2 se observa un resumen de los problemas priorizados a través de la matriz, siendo el rango en el cual se muestra la importancia. La literal "A" expresa la mayor importancia que es determinado por medio de la frecuencia de aparición en la matriz al realizar la comparación entre dos elementos

Cuadro 2. Resumen de matriz de priorización de problemas.

<i>Problemas</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Rango</i>
<i>Manejo de desechos orgánicos</i>	2	A
<i>Clasificación de residuos orgánicos</i>	1	B
<i>Control de residuos orgánicos producidos</i>	0	C

Fuente: elaboración propia, 2019. *El rango especifica la importancia de los problemas priorizados siendo "A" el problema de mayor importancia

1.5.3 Evaluación “ex ante”

A partir de la determinación de los problemas más importantes se realiza un FODA evaluando los aspectos más relevantes del manejo de desechos orgánicos, como una estrategia para el reciclaje de materiales, con lo cual se disminuye la cantidad de desechos que no reciben un manejo y contaminan.

Cuadro 3. Análisis *ex-ante* del compostaje

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Desechos orgánicos - Maquinaria - Personal - Recursos económicos - Disponibilidad de espacio - Apoyo de personas capacitadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Encontrar una proporción de recursos adecuada para obtener calidad - No existe una persona encargada del proceso de producción - No se controlan factores que afectan producción - Falta de experiencia en la producción de abonos orgánicos
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Menor generación de vertederos sin tratamiento - Mejora propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo - Disminuir costos 	<ul style="list-style-type: none"> - Factores ambientales - Instalaciones

Fuente: elaboración propia, 2019

1.6 CONCLUSIONES

1. Los residuos generados por la finca Palki son principalmente producto de procesos de cosecha y postcosecha de *B. guatemalensis*, *Sansevieria spp*, cactus y suculentas, los cuales son almacenados en gavetas y se llevan a un vertedero a cielo abierto en la finca, los cuales no reciben ningún mantenimiento.
2. El diagrama de los problemas se realizó a través de una matriz de priorización, por medio de la cual se determinó que el principal problema es el manejo de desechos orgánicos, ya que existe una gran cantidad de desechos que son generados por los procesos de cosecha y postcosecha de los cultivos ya mencionados.
3. Por medio de un análisis FODA se determinaron las principales fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades, en las cuales se establecieron las características principales que permiten establecer futuras soluciones para el manejo de desechos orgánicos.

1.7 RECOMENDACIONES

1. Integrar un área especializada en la producción de abono orgánico con el fin de establecer objetivos claros de trabajo y permitir el desarrollo de las actividades de forma ordenada y sistemática.
2. Realizar la sistematización del proceso de producción de abono orgánico para establecer metas de corto y mediano plazo en el desarrollo de abono orgánico.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

Medina Vásquez, J.M., Ortiz, F., Franco, C. A. & Aranzazú, C.(2010). *Matriz de Priorización para la toma de decisiones*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle, Facultad de Ciencias de la Administración, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Consultado el 26 de febrero de 2019. Disponible en: http://sigp.sena.edu.co/soporte/Plan/03_Matriz%20de%20priorizacion

Nava Torel, C. A. (2014). *Matrices de priorización*. México: Instituto Tecnológico de Apizaco. Consultado el 26 de febrero de 2019. Disponible en: https://carlosalbertonavatornel.weebly.com/uploads/2/6/1/8/26186377/matrices_de_priorizacin.pdf



CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE TRES CONCENTRACIONES DE UREA, COMO FUENTE DE NITRÓGENO PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES DE PLANTAS ORNAMENTALES EN LA FINCA PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA, C.A. .

2.1 PRESENTACIÓN

La finca Palki ubicada en San Jerónimo, Baja Verapaz produce *Sansevieria spp.* *Beaucarnea guatemalensis*, cactus y suculentas, los cuales a raíz del proceso de cosecha y postcosecha genera grandes cantidades de desechos orgánicos, que son depositados en un basurero a cielo abierto lo cual genera contaminación. Por lo que es importante realizar un proceso de producción de abono orgánico que permite el reciclaje de estos desechos y aportar nutrientes a los suelos de la finca.

El objetivo principal fue evaluar tres concentraciones de urea, como fuente de nitrógeno para producción de abono orgánico a partir de residuos vegetales de ornamentales, evaluando las principales características físicas y químicas para comprobar la calidad, y el comportamiento de los factores que intervienen en el proceso de compostaje esperado que el tratamiento con mayor porcentaje de urea reduzca el tiempo de producción.

Durante mucho tiempo se ha intentado realizar el proceso de producción de abono orgánico, una de las principales limitaciones es el desconocimiento y falta de información sobre la relación carbono nitrógeno (C:N) inicial que se suministraba a la mezcla por medio de los residuos orgánicos generados en la finca, lo cual ocasiona un proceso de descomposición lenta y una mala calidad en el abono.

De igual manera la producción se ve afectada debido a que no existe un control en la temperatura, humedad y pH ocasionado por la inconstancia de los volteos propiciando la quema de materia orgánica, consecuentemente provoca la muerte de los microorganismos y una mala calidad del producto final. El cual fue un factor que se estandarizo para la producción de compost, considerando los volteos una vez por semana durante el proceso para garantizar la aireación, homogenización de materiales y la uniformización de la humedad.

Debido a que la materia prima que se utilizó es considerada lignificada en gran medida es estimada con una relación C:N muy alta, lo que hace que el proceso de descomposición sea demasiado lento, por lo que es necesario considerar una fuente de nitrógeno para obtener una relación C:N entre 10 :1 hasta 30:1. La urea es el fertilizante más popular. Es el sólido granulado de mayor concentración de nitrógeno, con una formulación de nitrógeno total (en forma amídica) del 46 % (Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.A. (YPF), 2012), además es una de las fuentes más baratas y accesibles en el mercado, comparada con otros fertilizantes nitrogenados.

Según Tortosa (2018) la importancia de la relación carbono nitrógeno en el compost es que en la célula microbiana hay 10 partes de carbono por 1 de nitrógeno, por lo cual al incorporar el material nutricional que llevan cantidades variables debe ajustarse a ese contenido, pero se establece una relación hasta 30:1 debido a que no todo el carbono será asimilable para el metabolismo de los microorganismos y la eficiencia de asimilación se encuentra en alrededor del 30 %.

De acuerdo con los resultados obtenidos la etapa mesófila duró entre los 10 y 14 días para las pilas de compostaje, la etapa termófila comenzó a los 15 días y finalizó a los 52 días, la fase de enfriamiento se alcanzó entre los 52 y 59 días.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

ICTA (2010) define “la palabra compost como abono que es el resultado del proceso de descomposición y fermentación de diferentes clases de materia orgánica, realizado por microorganismos en presencia de oxígeno”.

Jiménez (1994) citado en Rojas Pérez & Zeledón Vilchez, 2007 señala “la importancia del compost está dada por la formación de humus que se considera esencial para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual beneficia las labores de mecanización, aireación de raíces, solubilidad de elementos”.

La materia orgánica es uno de los más importantes componentes del suelo. Tiene una composición variada, debido a que proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio.

Según Román, Martínez, & Pantoja, 2013 la materia orgánica es “cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos. Puede ser hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas pelo, huesos animales muertos, productos de microorganismos”.

Los materiales iniciales por medio de un proceso de descomposición o de mineralización, que puede realizarse en pilas de compostaje o en el suelo, donde los azúcares complejos y proteínas son degradados por medio de microorganismos. Durante este proceso se genera biomasa, calor, agua y materia orgánica más descompuesta (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013). El resultado final de la descomposición se conoce como ácidos húmicos y fúlvicos que son los materiales más estables. La materia orgánica puede ser aplicada al suelo de diferentes formas: fresca, seca o procesada.

2.2.1 Ventajas del compostaje

Las principales ventajas del compost es que al ser aplicado al suelo mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre las cuales se puede mencionar:

- **Propiedades físicas:** entre los beneficios que se obtienen al adicionar compost al suelo es la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo por medio de la formación de agregados. Suelos menos encharcados debido a que se facilita el drenaje y se reduce la erosión (Negro *et al*, 2009).
- **Propiedades químicas:** el uso de abono orgánico aporta nutrientes en pequeñas cantidades, pero esencialmente se debe mencionar que mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, que consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, permitiendo la disponibilidad para las plantas, reduciendo la lixiviación. Además, los compuestos húmicos forman complejos y quelatos estables, aumentando la posibilidad de ser asimilados por las plantas (Negro *et al*, 2009).
- **Actividad biológica:** uno de los beneficios es la mejora de actividad biológica del suelo, debido a que se proporciona energía y nutrientes para los microorganismos presentes en el suelo, lo cual contribuye a mantener una población microbiana activa que es índice de suelo fértil. Además, se favorece la respiración radicular y germinación de semillas (Negro *et al*, 2009).

2.2.2 Desventajas del compostaje

Existen ventajas que obligan a las empresas y organizaciones a adoptar el compostaje como método de reciclaje, pero es necesario tomar en cuenta algunos de los inconvenientes que

se tienen tanto en la producción como en el uso de este material, entre las desventajas se pueden mencionar:

- Es necesario tomar en cuenta que el proceso de compostaje supone una inversión, ya sea en torno al equipo o a la mano de obra que se utiliza tanto para el establecimiento como el mantenimiento del material durante el proceso de descomposición, así como, los gastos de recolección y transporte del material inicial (Negro, y otros, 2009)..
- La disponibilidad del terreno es un elemento muy importante durante el proceso de compostaje ya que se debe prever un terreno para almacenar el material inicial, otro para mantener el compost durante el proceso de descomposición y otro para almacenar los productos terminados (Negro, y otros, 2009).
- Uno de los elementos mencionados por Yépez Jimenez & Pulgarin Pineda, 2018 es la generación de lixiviados, olores y polvos durante el proceso de compostaje.
- Uno de los principales problemas es la presencia de impurezas como plástico y vidrio que son ingeridos por animales. Por ellos es necesario realizar el tamizado final, pero más importantes es tener una buena clasificación inicial de los desechos (Yépez Jimenez & Pulgarin Pineda, 2018).
- Según Campos *et al*, 2004 “si la relación C:N es muy baja se perderá nitrógeno por emisión de amoniaco a la atmosfera”.

2.2.3 Pilas de compostaje

El compostaje en sistema de hilera o pila es derivado del proceso original de compostaje al aire libre, este consiste en colocar el material en pilas de dimensiones entre 1 m a 3 m de altura y 3 m a 8 m de ancho. Las dimensiones de la hilera dependen del material a procesar y el sistema que se usa para mantener el oxígeno de la biomasa. (Docampo, 2013).

De acuerdo con el método de provisión de oxígeno a la biomasa según Docampo (2013) se pueden clasificar en:

- Pilas estáticas: esto depende del tipo de biomasa, aquellos en los que no es necesario recurrir al volteo, debido a que la característica permite que la convección natural de aire se vea limitada solo en una pequeña parte del volumen total de la pila.
- Pilas estáticas aireadas: la aireación es el proceso de introducción de flujo de aire por medio del material utilizando uno o más ventiladores que operan bajo presión negativa o positiva.
- Pilas con volteo mecánico: el método más simple y adoptado para el volteo de las pilas de compostaje ha sido el de “pala frontal”, aunque en la actualidad se ha ido sustituyendo por equipos diseñados para la aireación y volteo mecánico de la biomasa.
- Compostaje en biorreactor: es una estructura cerrada y rígida que se usa para contener el material a someter a tratamiento biológico. Es utilizado para la primera fase del compostaje que requiere mayor atención y control que la segunda fase.

El compostaje por medio de pilas es el sistema más conocido que existe. Es ideal para compostar grandes volúmenes de materiales. El objetivo es realizar montones de más de 1 m³ de volumen para alcanzar temperaturas de hasta 70 °C para higienizar el compost. Con este sistema se facilita la mezcla de los materiales, la aireación, volteo y riego (Palmero Palmero, 2010).

En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, oxígeno y temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos

grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso.

Normalmente, se hacen pilas entre 1.5 m y 2.0 m de alto para facilitar las tareas de volteo y de un ancho de entre 1.5 m y 3 m. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013). Según Unións Agraria-UPA, 2013 la forma de la pila influye directamente debido a que una pila trapezoidal o cónica, debido a que son ventiladas por convección natural, es decir, el aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados (Figura 7).



Figura 7. Movimiento de aire en la pila.

Fuente: Unións Agraria-UPA, 2013.

La altura idónea para las pilas volteadas está entre 1.2 m – 2.0 m (Haug, 1993 en Jarre Castro, 2005). De acuerdo con las dimensiones de las pilas y el espacio entre cada una de ellas de 2.5 m para el adecuado trabajo de las palas, la nave de compostaje ocupa una superficie de 435 m². Estas pilas de compostaje están formadas por una superficie lisa de suelo de cemento con una inclinación del 10 % para favorecer la recogida de los lixiviados después de cada riego.

2.2.4 Materia prima

Los materiales de partida pueden ser clasificados dependiendo del enfoque y la consideración de diferentes parámetros. Entre los parámetros que se considera se encuentra: origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales y parámetros físicos (Sztern & Pravia, 1999).

De acuerdo con la naturaleza química los residuos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos. Existen diferentes definiciones acerca del término residuo orgánico, una de las definiciones más acertadas para este trabajo es “todo aquel material que proviene de especies de flora o fauna y es susceptible de descomposición por microorganismos, o bien consiste en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo” (Comisión para la Cooperación Ambiental, Canadá (CCA), 2017). Según Negro *et al*, 2009 se considera que los residuos orgánicos son ricos en carbono (C) y nitrógeno (N) (cuadro 4).

Cuadro 4. Materiales ricos en carbono y nitrógeno utilizados como materia prima para compostaje.

DESECHOS RICOS EN NITROGENO		DESECHOS RICOS EN CARBONO	
MATERIAL	RELACION C:N	MATERIAL	RELACION C:N
Orines	1	Restos cultivo del champiñón	30 - 40
Residuos de pesca	4	Caña de maíz	52
Gallinaza	12	Turbas	30 - 100
Estiércol de ovino	11	Sarmiento de vid	70
Purín de cerdo	13	Paja de avena/centeno	70
Leguminosas	10-15	Paja de arroz	100
Césped	14	Paja de trigo/cebada	110

Continuación cuadro 4

Mezcla de horticultura	15	Serrín de caducifolias	160
Hierbas	27	Papel	150 – 200

Fuente: Escuela de Capacitación Agraria y agroalimentaria, s.f.

Cuando la materia prima a utilizar es muy lignificada presenta una relación C:N muy alta, ocasionando que el proceso de descomposición sea demasiado lento, por lo que es necesario considerar una fuente de nitrógeno para obtener una relación C:N entre 10:1 hasta 30:1. La urea es el fertilizante más popular. Es el sólido granulado de mayor concentración de nitrógeno, con una formulación de nitrógeno total (en forma amídica) del 46 % (Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.A. (YPF), 2012), además es una de las fuentes más baratas y accesibles en el mercado, comparada con otros fertilizantes nitrogenados.

2.2.5 Proceso de compostaje

El compostaje es la suma de procesos metabólicos complejos realizados por medio de diferentes microorganismos, que debido a un proceso aeróbico, aprovechan el nitrógeno y el carbono para producir biomasa (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013), además es el principal constituyente de las estructuras celulósicas, así como de ligninas e hidratos de carbono de las plantas entre las cuales se puede mencionar paja de cereales, cortezas, ramas leñosas, virutas de madera, serrín, cartón, etc. El nitrógeno abunda en plantas tiernas y jóvenes de color verde, hierba fresca, leguminosas y deyecciones animales, etc. (Palmero Palmero, 2010).

En el proceso de producción de abono orgánico se necesitan diferentes componentes entre los cuales se encuentra el agua, el oxígeno y microorganismos, factores que intervienen en el proceso de compostaje.

Los factores limitantes del proceso son los que puedan influir sobre el desarrollo de los microorganismos, los cuales permiten obtener un producto final de calidad y en el menor tiempo posible (figura 8). Determinando la velocidad con la cual las materias primas iniciales evolucionan hasta convertirse en compost maduro. Los factores que intervienen en cualquier proceso biológico de transformación están relacionados entre sí y son muchos y complejos (Solarsom, España, 2014).

Algunos de los factores que se deben tomar en cuenta son:

- Tamaño de partícula.
- Temperatura.
- Humedad.
- Relación C:N.
- Aireación.

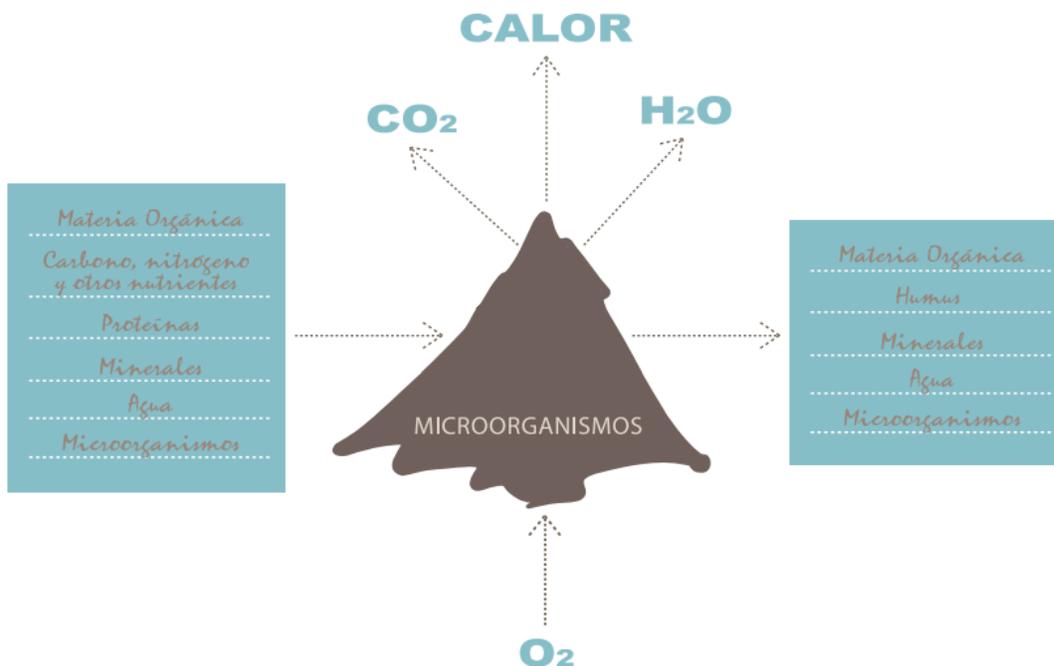


Figura 8. Corrientes de flujo y energía del proceso.

Fuente: Unión Agraria-UPA, 2013.

A. Temperatura

Según Solarsom, 2014 la temperatura “es un factor indicativo de la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica”.

Cada material se descompone a una velocidad y temperatura diferente, por lo que es difícil determinar una temperatura óptima, pero sí se puede fijar en el intervalo de 50 °C - 70 °C, coincidiendo con la máxima tasa de producción de CO₂ (Solarsom). Hacia los 70 °C se inhibe la actividad microbiana por lo que es importante la aireación del compost para disminuir la temperatura y evitar la muerte de los microorganismos (Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008).

Barrera, 2006 define que el proceso de aumento de temperatura permite la higienización que consigue tres objetivos:

1. Prevenir el crecimiento y la diseminación de patógenos.
2. Destruir los que hay presentes.
3. Producir un producto final no recolonizable por patógenos.

De acuerdo con las directrices de United States Department of Agricultura, National Organic Program, USDA (NOP), 2011 para pilas en sistemas de hileras, se debe mantener una temperatura entre 131 °F (55 °C) y 170 °F (77 °C) por 15 días y la pila volteada un mínimo de cinco veces durante este periodo de tiempo.

Durante el proceso de descomposición los microorganismos desprenden calor a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Se reconocen cuatro etapas según la temperatura, las cuales son fase mesófila, termófila, enfriamiento y maduración (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013). En la figura 9 se presenta la variación de temperatura, pH y oxígeno en las diferentes etapas del proceso de compostaje.

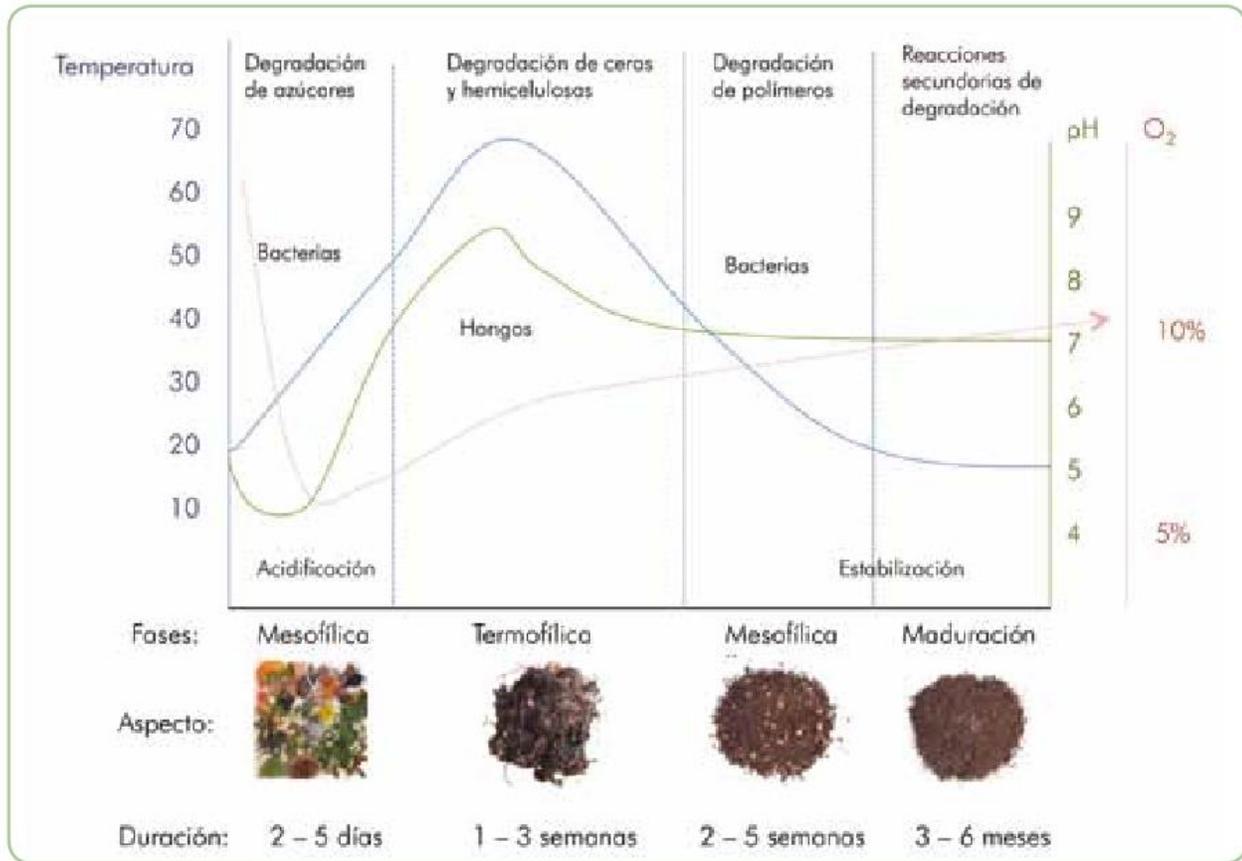


Figura 9. Comportamiento de los parámetros temperatura, oxígeno y pH durante el proceso de compostaje. Fuente: Román, 2013.

Las fases mesófila y termófila del proceso, mencionadas anteriormente, tienen un intervalo óptimo de temperatura. Se ha observado que las velocidades de crecimiento se duplican aproximadamente con cada subida de 10 °C de temperatura, hasta llegar a la temperatura óptima. Durante el aumento de temperatura las poblaciones bacterianas se van sucediendo unas a otras (Jaramillo Henao & Zapata Marquez, 2008).

B. Humedad

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55 %, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013).

Si la humedad baja por debajo de 45 %, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (> 60 %) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013).

Según Roman, Martínez , & Pantoja , 2013 el rango óptimo de humedad para compostaje es del 45 % al 60 % de agua en peso de material base.

C. Aireación

La aireación del compost es necesaria ya que durante la fase bio-oxidativa, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20 %, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un 5 %. Con la aireación, conseguimos elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlamos con ello otros factores tan importantes como la temperatura o la humedad (Solarsom, España, 2014).

D. pH

El pH se define como la concentración de iones hidronio que se presenta en una disolución, se mide en una escala de 0 a 14, valores iguales a 7 indica que son neutros, menores a 7 son ácidos y mayores a 7 básicos.

La importancia del pH radica en que este parámetro puede condicionar la actividad biológica que degrada la materia orgánica y puede seleccionar a las poblaciones microbianas presentes en cada momento. Las bacterias prefieren pH cercanos a la neutralidad con un rango entre 6 - 7.5, por el contrario, los hongos se desarrollan mejor en medio ácido, aunque toleran un margen más amplio de pH (5 - 8). Altamarino, M., Cabrera., C, 2006 en Brito,

Viteri, Guevara, Villacrés, Jara, Jiménez,.... Parra, 2016 considera que valores de pH entre 6 a 9 son óptimos en el proceso de compostaje.

Sundber y Col citado en Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M., & Cabrera Capitán, M., 2008 señalan que la influencia del pH con respecto al proceso de compostaje se considera directa debido a que esta correlacionada con la acción de la dinámica microbiana, por lo que un producto final con pH entre 7.5 y 8 tuvo una aireación adecuada, mientras pH resultante más bajo es indicativo de fenómenos anaeróbicos o el material aún no está maduro. Sin embargo, su medida, realizada en laboratorio sobre el extracto acuoso de las muestras tomadas en las pilas, es solo una aproximación del pH *in situ*.

De acuerdo con Bueno Márquez *et al*, 2008 el seguimiento es una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH.

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso (fase mesófila), el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013).

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6.0 – 7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5 – 8.0. El rango ideal es de 5.8 a 7.2 (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013).

E. Relación C:N

La relación C:N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (% total) sobre el contenido de N total (% total) de los materiales a compostar (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013).

El carbono es un componente energético que formara parte de la estructura de las plantas y microorganismos y el nitrógeno apoya la síntesis de proteínas para su crecimiento y desarrollo.

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1 (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013). Por el contrario, Tortosa, 2018 fija la relación C:N inicial entre 20 y 30, es decir 20 - 30 átomos de carbono por cada átomo de nitrógeno, con un valor ideal de 25:1.

La relación de estos dos elementos es esencialmente importante, debido a que en general en las células microbianas utilizan 10 partes de carbono y 20 son oxidadas en forma de CO₂ (teniendo una tasa de eficiencia de asimilación del 30 % del carbono total de la mezcla), por lo que en la relación de C:N se fija 30:1, con lo que se asegura que los microorganismos tienen la proporción necesaria para realizar el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Como se mencionó anteriormente, la relación C:N de referencia es 25:1, si la mezcla inicial presenta una relación C:N mayor a 30, el proceso microbiano no se encuentra optimizado y se tienen un déficit de N en la mezcla, como consecuencias el proceso de compostaje se prolonga en el tiempo, es potencialmente poco exotérmico y no alcanza la correcta higienización del abono, debido a la elevada cantidad de fibras (lignina, lignocelulosa y celulosa), con un resultado fibroso y con baja liberación de nutrientes en el suelo (figura 10).

Por el contrario, si la relación C:N es baja, es decir menor a 20:1, presenta una mayor cantidad de nitrógeno, lo que ocasiona una pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco favorecido termodinámicamente por tratarse de un gas, que aumentan en la medida que la relación sea menor y en consecuencia tendremos una menor cantidad de nitrógeno en la mezcla final (Tortosa, 2013).

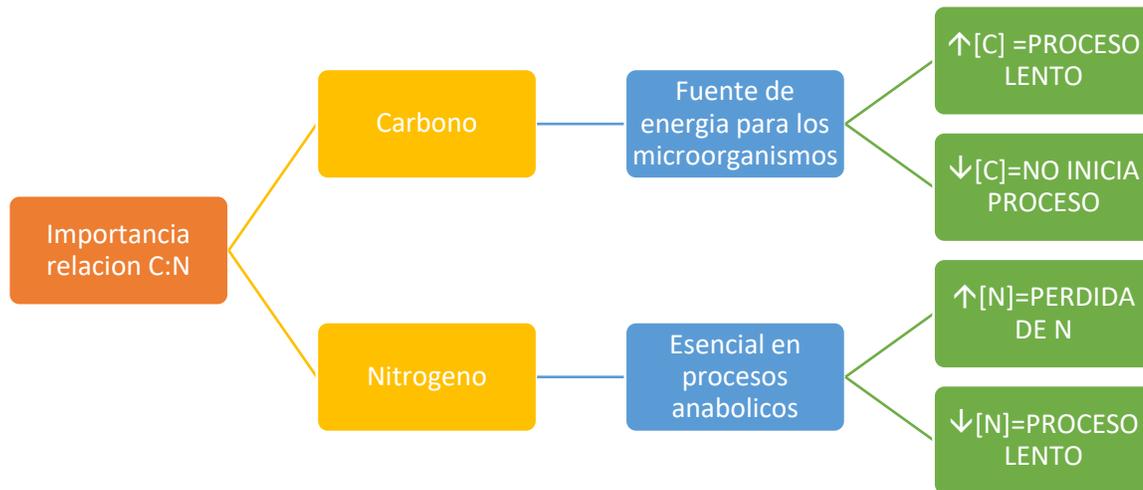


Figura 10. Importancia de la relación C:N en la mezcla inicial de materiales.
Fuente: elaboración propia, con información de Tortosa, 2018.

El carbono y nitrógeno aportado a la mezcla inicialmente sufre pérdidas en forma de dióxido de carbono, producto del proceso de fermentación, de acuerdo con Ambientum, 2019 la relación C:N disminuye hasta valores entre 12 y 18.

Ambientum, 2019 indica que si la relación C:N es alta, no ha sufrido una descomposición completa y si el índice es muy bajo, puede ser por una excesiva mineralización. Además, una relación C:N muy alta indica que se la disponibilidad de nutrientes para la planta será menor (Roman, Martínez, & Pantoja, 2013).

F. Microorganismos

Son un factor importante en el proceso de compostaje ya que depende de ellos la degradación de la materia orgánica. Las bacterias se encargan fundamentalmente de la descomposición de los carbohidratos y las proteínas. Por otro lado, los hongos y actinomicetos actúan principalmente sobre la fracción lino-celulósica.

G. Tamaño de partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 cm a 20 cm (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013).

2.2.6 Fases de descomposición del compostaje

A. Fase Mesófila

En esta fase el material comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45 °C. Este aumento es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5) Este proceso puede durar entre dos y ocho días. (Roman, Martinez , & Pantoja , 2013).

B. Fase termófila

Al alcanzar temperaturas mayores a 45 °C, los microorganismos son reemplazados por los que crecen a mayores temperaturas, que principalmente son bacterias termófilas, que

facilitan la degradación de fuentes más complejas de C, como celulosa y lignina. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar (Roman, Martínez , & Pantoja , 2013).

C. Fase de enfriamiento

En esta fase la temperatura desciende hasta los 40 °C – 45 °C, continuando con la degradación de polímeros como celulosa. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende, aunque se mantiene ligeramente alcalino. La fase de enfriamiento puede durar varias semanas.

D. Fase de maduración

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

2.2.7 Urea

Según Salas, Molina, & Castro (1995) el uso eficiente del fertilizante nitrogenado por los cultivos ha sido de gran interés agronómico por muchos años. Existen factores que pueden reducir la eficiencia de la adición de N al suelo como fijación o inmovilización, pérdidas gaseosas de N a través de desnitrificación, volatilización y pérdidas por lavado (Maddux & otros, 1991 en Salas, Molina, & Castro, 1995).

Al fertilizar los suelos con urea, la hidrolisis y posterior oxidación del amonio liberan protones, aumentando la acidificación del suelo. La lixiviación de nitratos originados por la oxidación de la materia orgánica y del amonio se traduce, finalmente, en acidificación (Arteaga, Barrios, & Mujica, 2011).

La urea es un compuesto nitrogenado que presenta múltiples usos. Del total mundial producido, el 90 % se usa como fertilizante agrícola en aplicación directa, materia prima para la elaboración de mezclas junto al fosfato diamónico y el cloruro de potasio..... (Espinoza Oyarzu, 2012).

Según Fernández (1984) las principales ventajas de la urea son:

- Alta concentración de nitrógeno: la urea contiene 46 % de nitrógeno. Lo cual disminuye los costos por transporte y aplicación en torno a cantidad de producto por unidad.
- Alta solubilidad: esta característica facilita su rápida incorporación al suelo a través de lluvia o riego, así mismo permite la aplicación disuelta en agua de riego o como fertilización foliar.
- Precio atractivo: la urea ha mantenido un precio por kilogramo de nitrógeno inferior al de los abonos nítricos, que son su mayor competencia.

Entre las desventajas Fernández (1994) menciona:

- Pérdida de nitrógeno: la mayor desventaja es la posible pérdida de nitrógeno, en forma de gas amoníaco, proveniente de su descomposición en el suelo.
- Daño en la germinación por aplicación localizada: en condiciones de poca humedad y altas temperaturas el desprendimiento de amoníaco puede dar la germinación de algunas semillas, por lo cual no es recomendable localizarla cerca de la hilera de siembra.
- Acidificación del suelo: el uso constante en suelos neutros y ácidos, a mediano plazo, puede producir una disminución de pH, aumentando la acidez producto de la liberación de iones de hidrógeno durante la nitrificación del amonio.

El nitrógeno según su naturaleza química se divide en dos grupos: orgánico e inorgánico. El nitrógeno orgánico es descrito por Tortosa, 2013 como los átomos de nitrógeno que se

producen en los compuestos orgánicos, eso quiere decir que son compuestos que no tienen carbono e hidrógeno como componentes esenciales, principalmente proteínas y péptidos. El nitrógeno orgánico por otro lado puede no contener carbono e hidrógeno como componente esencial y se encuentran en forma de amonio y nitrato, estos compuestos son directamente asimilables por los microorganismos y por las plantas (figura 11) (Tortosa, 2013).

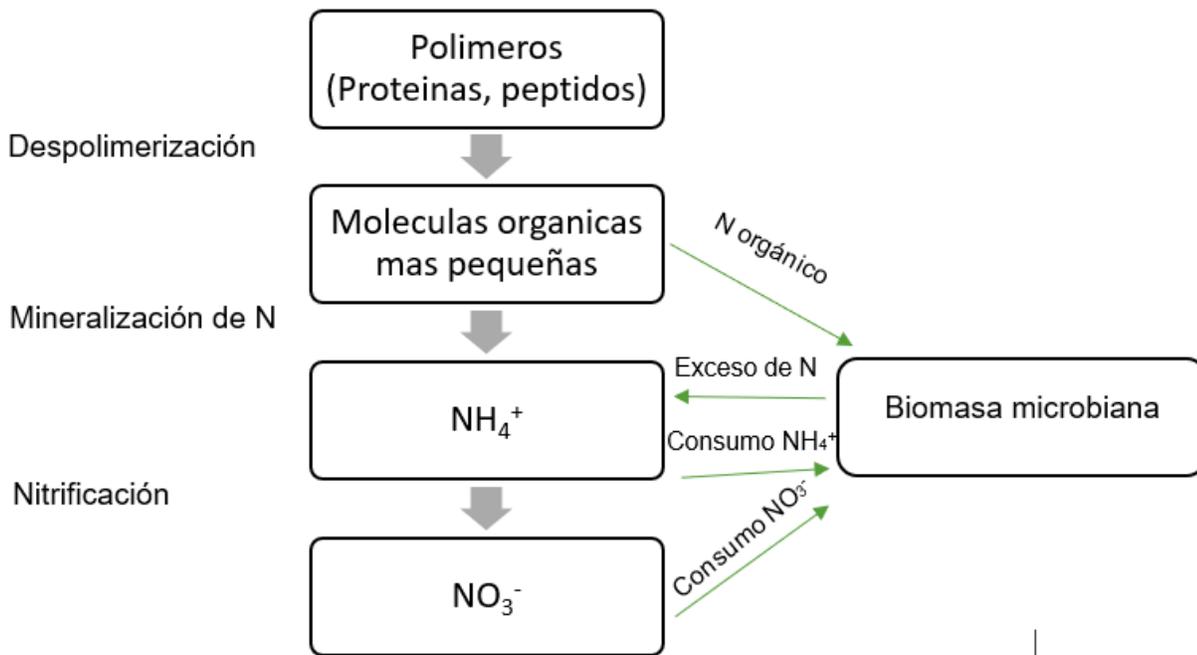


Figura 11. Pasos para la mineralización de nitrógeno en el suelo.

Fuente: elaboración propia con información de Tortosa, 2014.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Evaluar tres concentraciones de urea, como fuente de nitrógeno para producción de abono orgánico a partir de residuos vegetales de plantas ornamentales en la finca Palki.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Verificar la relación C:N de los desechos orgánicos que genera la finca.
2. Establecer la concentración de urea adecuada que muestre influencia sobre los factores temperatura y pH.
3. Verificar si existe diferencia en la relación carbono nitrógeno del compost proveniente de cada tratamiento.

2.4 METODOLOGÍA

Las actividades que se realizaron consistieron en una fase de campo y fase de análisis de la información. Durante la fase de campo se realizaron todas las actividades de establecimiento y mantenimiento del experimento, además de los muestreos realizados.

2.4.1 Relación C:N de desechos orgánicos iniciales

Se realizó la recolección inicial de materiales por un mes de los residuos generados clasificándolos en dos grupos de la siguiente forma:

- *B. guatemalensis*.
- Suculentas y cactus.

Con el objetivo de obtener una muestra significativa y homogénea para realizar el análisis de laboratorio en el cual se analizó la relación C:N de los cultivos que se producían en la finca. *Sansevieria spp* no se tomó en cuenta ya que la cantidad de residuos producidas no es significativa, respecto a los grupos mencionados anteriormente.

Posterior a la recolección de desechos, se realizó una homogenización de los materiales en cada grupo debido a que se tenía material recolectado de tiempos diferentes y se trituraron las muestras, tomando 1 kg de cada uno de los grupos para su posterior análisis de laboratorio para nutrición de plantas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, USAC.

2.4.2 Concentración de urea para transformación de desechos orgánicos

A. Factores

Los factores que se aplicaron en esta investigación experimental son tres diferentes dosis de urea como fuente de nitrógeno, siendo los niveles del factor la concentración al 10 %, 15 %, 30 % y un testigo absoluto en el cual se realizó el proceso de producción de abono orgánico sin aplicación de nitrógeno, con lo que se responde al objetivo uno en el cual se busca establecer la concentración de urea adecuada para la transformación de desechos orgánicos a partir de diferentes dosis.

T1=Testigo absoluto (sin aplicación de nitrógeno).

T2=10 % de nitrógeno.

T3=20 % de nitrógeno.

T4=30 % de nitrógeno.

B. Unidad experimental

El experimento estaba conformado por 12 unidades experimentales. La unidad experimental que se utilizó son pilas a campo abierto con las siguientes dimensiones (Figura 12).

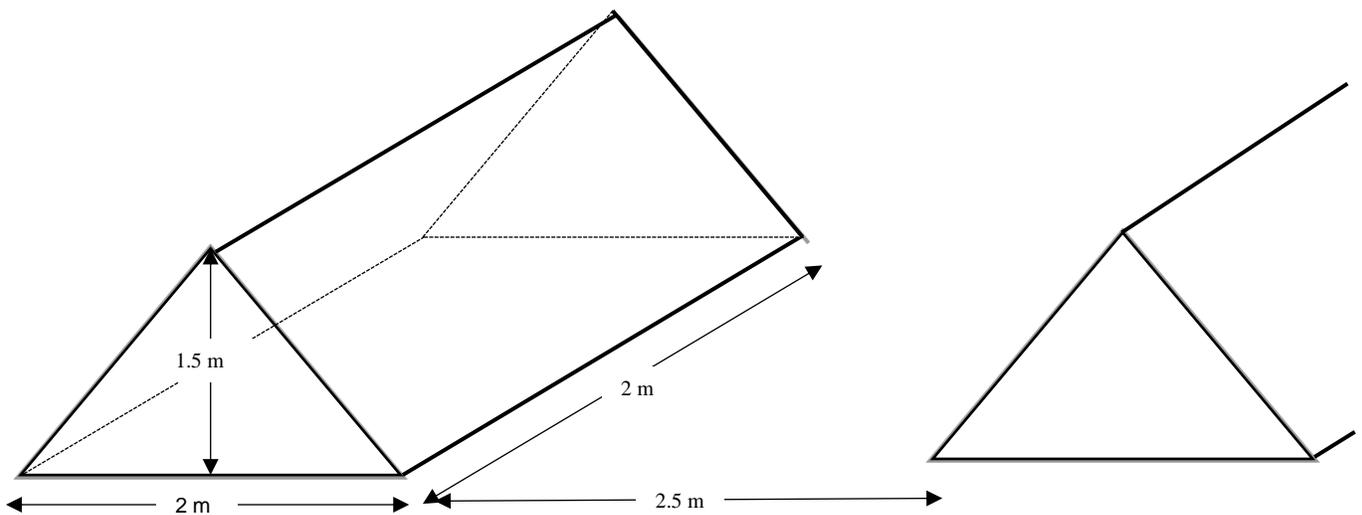


Figura 12. Formación de pilas de compostaje con medidas que se utilizaron para llevar a cabo las unidades experimentales.

Fuente: elaboración propia, 2019.

C. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, que es considerado el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que solo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio (figura 13) (Cuellar Paz & Rotavisky Guerrero, 2013).

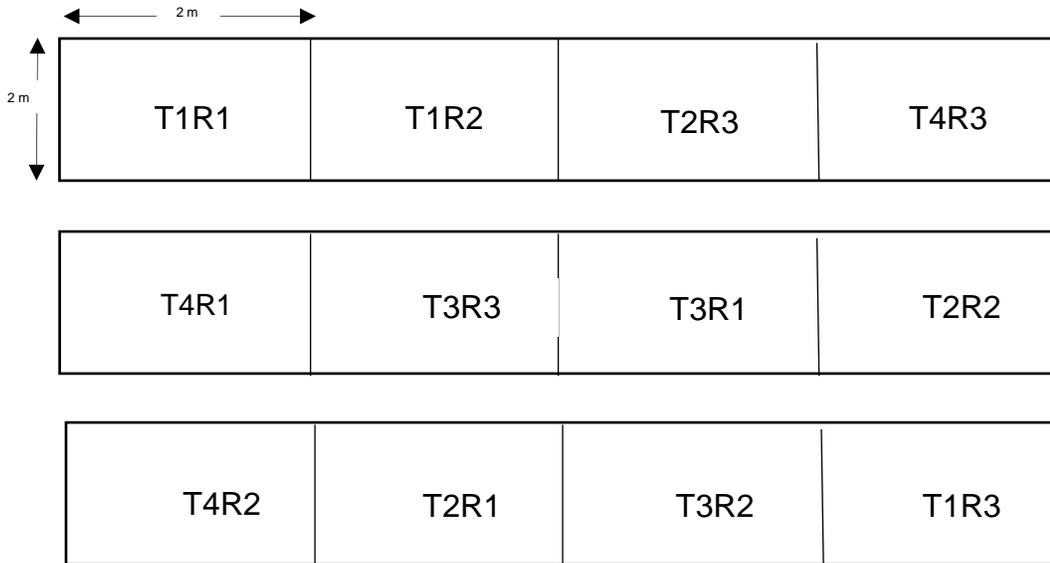


Figura 13. Distribución de los tratamientos en campo.

D. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta observada en el ij -ésima unidad experimental.

μ = media general.

τ_i =efecto del i -ésimo tratamiento.

ε = error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

E. Establecimiento y manejo del experimento

El manejo del experimento consistió en los siguientes pasos:

1. Residuos por utilizar: los residuos que se utilizaron son *Beaucarnea guatemalensis*, *Sansevieria spp*, suculentas y cactus.

2. Colecta y transporte de residuos orgánicos: el material vegetal se recolecto del almacenamiento de residuos del área de producción.
3. Trituración de material: la trituración del material vegetal se realizó por medio de carivagui TPF 15 obteniendo partículas lo más finas posibles, entre 0.2 mm y 7 mm, para favorecer el proceso de degradación y descomposición de los residuos.
4. Mezcla: se colocaron capas de material y se rego, se agregaron los porcentajes correspondientes de urea para cada tratamiento, que se dividieron en tres aplicaciones, realizando una por día. Por último, se agrega la tierra que debe ser en una relación no mayor al 15 % del total del material que se ha utilizado. Se procede a revolver todos los materiales y es en esta actividad donde se realizó la inoculación con microorganismos efectivos (ME) que permiten acelerar el proceso de descomposición. Se tapa, de manera que inicie el ascenso de temperatura.

F. Variables de respuesta

El compostaje tiene como fin obtener un producto con características adecuadas para aplicarlo en campo sin producir efectos adversos, por lo que se espera alcanzar un producto estable en cuanto a temperatura que oscile entre 50 °C - 60 °C, pH cercano a neutro, obteniéndose en el menor tiempo posible. Por lo que se esperaba que la aplicación de Urea, como fuente de nitrógeno, produzca efectos favorables sobre las variables en el compost.

El análisis e interpretación de información se realizó a partir de las variables de respuesta, creando una base de datos con la información obtenida durante los muestreos, posteriormente se realizó un análisis de varianza utilizando el programa con licencia estudiantil InfoStat® y un análisis múltiple de media; con el objetivo de establecer la concentración de urea adecuada para la transformación de desechos orgánicos producidos en la finca Palki respecto a las variables temperatura y pH.

Temperatura

La temperatura fue analizada dos veces por semana, una antes del volteo y dos días después por medio de la toma de muestras de la zona central o núcleo de compostaje y de la zona de la corteza, que representa la zona que rodea al núcleo.

pH

La variable pH fue obtenida con intervalos de diez días por medio de toma de tres muestras con un barreno, para que fuera lo más homogénea posible y posteriormente se utilizó una relación 1:10 para la lectura del potenciómetro.

2.4.3 Relación C:N

La relación C: N final fue evaluada al finalizar el proceso de compostaje para el testigo y el tratamiento 3, por medio del análisis del laboratorio. En el cual se realizó una comparación porcentual de los resultados obtenidos. Conjunto a la variable mencionada anteriormente se analizará el porcentaje de materia orgánica, ya que este valor indica la cantidad de carbono presente en la muestra al finalizar el proceso de compostaje para el testigo y el tratamiento 3.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Verificación de la relación C:N de los desechos orgánicos

Los desechos orgánicos generados por la finca son clasificados en tres, los cuales se presentan en el cuadro 5 en el que se encuentra la distribución de residuos generados.

Cuadro 5. Volumen de desechos orgánicos producidos por mes para la clasificación de cultivos de la finca.

CULTIVO	Volumen (m ³ /mes)	Residuos (%)
<i>Beaucarnea guatemalensis</i>	82.08	85
Suculentas y cactus	11.54	12
<i>Sansevieria spp</i>	2.56	3

De acuerdo con los resultados del cuadro 5 el 85 % (82.08 m³/mes) de los residuos orgánicos son producidos por el proceso de producción de *Beaucarnea guatemalensis* (pony), que principalmente son hojas y tallo, que representa el mayor volumen por dos razones, volumen de producción y tamaño de planta. En las suculentas y cactus el 12 % (11.54 m³/mes) del total, que corresponde principalmente a tallos suculentos y sustrato que contiene peatmost, piedra poma, egmond, fibra de coco y perlita en diferentes proporciones. Mientras que el 3 % corresponde a *Sansevieria spp.* con 2.56 m³/mes.

Con fines económicos el análisis de laboratorio realizado se trabajó con los cultivos *Beaucarnea guatemalensis*, suculentas y cactus, los últimos dos se unieron ya que los residuos individualmente son un volumen muy bajo (cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de laboratorio realizado para *Beaucarnea guatemalensis*, suculentas y cactus.

	Materia orgánica (%)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	C:N
<i>Beaucarnea guatemalensis</i>	52.56	30.56	1.45	21
Suculentas y cactus	26.28	15.28	1.33	11

De acuerdo con los resultados obtenidos de laboratorio se observa que la relación C:N de la *Beaucarnea guatemalensis* es de 21, lo que se puede deber principalmente al origen de los residuos, ya que está compuesto por un tallo con mayor lignificación comparado con el tallo de las suculentas y cactus, además, debe considerarse la edad, ya que el ciclo de cultivo de *Beaucarnea guatemalensis* dura aproximadamente tres años.

El porcentaje de materia orgánica reportado en *Beaucarnea guatemalensis*, de 52.56 %; según Román, *et al*, 2013 el porcentaje de materia orgánica inicial se encuentra entre 50 % y 70 % para los residuos iniciales debido a que los microorganismos necesitan degradar los carbohidratos por medio del proceso de mineralización, por lo que al finalizar el proceso se espera una reducción hasta descender a 20 % en peso de la masa compostada (Zucconi y col, 1987 en Bueno Márquez *et al*, 2008). Por el contrario, las suculentas y cactus inicialmente presentan 26.28 % de materia orgánica lo cual en grandes cantidades aplicada en la mezcla puede significar un proceso de descomposición más lento.

Cuadro 7. Composición nutricional de *Beaucarnea guatemalensis*, suculentas y cactus.

ELEMENTOS	Unidad medida	<i>Beaucarnea guatemalensis</i>	Suculentas y cactus
NITROGENO	% p/p	1.33	2.21
FOSFORO (P2O5)	% p/p	0.01	0.01
POTASIO (K2O)	% p/p	5.15	1.58

Continuación cuadro 7

CALCIO (Ca)	% p/p	1.28	2.99
MAGNESIO (MgO)	% p/p	0.41	0.42
COBRE (Cu)	ppm	222	67
HIERRO (Fe)	ppm	195	780
MANGANESO (Mn)	ppm	45	159
Zinc (Zn)	ppm	95	205

En el cuadro 7 la concentración de elementos de cada planta que está directamente relacionada con la fertilización y el tipo de suelo en el que se produce. Ya que las suculentas y cactus son producidas en sustratos inertes en las cuales se aplica una fertilización rica en nitrógeno para permitir una mayor formación de follaje. Por el contrario, *Beaucarnea guatemalensis* es cultivada en suelo de diferentes regiones del país y un ciclo de cultivo de tres años.

De acuerdo con Kiehl, 1985 en Bueno Márquez *et al*, 2008, la característica química más importante de los sustratos es su composición elemental. La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean.

Los microorganismos pueden aprovechar compuestos simples por lo que las moléculas complejas se rompen en sencillas para poder ser asimiladas (Castaldi, Alberti, Merella, & Melis, 2005). Además de la importancia del carbono y nitrógeno en el compostaje, el fósforo es fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Bueno Márquez *et al*, 2008) el cual en los cultivos que se muestran en el cuadro 6 presentan un valor de 0.01 %.

Los micronutrientes también tienen un papel importante en la síntesis de enzimas, el metabolismo de microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Miyatake & Iwabuchi, 2006)

A partir de los resultados de laboratorio obtenidos se realizó el cálculo de la cantidad de urea requerida para cada uno de los tratamientos como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Relación C:N de la mezcla final utilizando *Beaucarnea guatemalensis*.

N (%)	UREA (kg)	N (kg)	N <i>B. guatemala lensis</i> (kg)	N TOTAL	C <i>B. guatemalensis</i> (kg)	C TOTAL	RELACION C:N
0 %	0	0	30	30	650	650	22
10 %	5	2.3	30	32.3	650	650	20
20 %	10	4.6	30	34.6	650	650	19
30 %	15	6.9	30	36.9	650	650	18
100 %	50	23	30	53	650	650	12

Para el cálculo de la mezcla final se tomó únicamente la relación C:N de los desechos obtenidos a partir de *Beaucarnea guatemalensis*, ya que representan el 85 % del volumen total de la mezcla, debido a que el aporte proporcionado por suculentas y cactus es muy bajo. En el cuadro 4 se detalla los valores utilizados para la aplicación de urea en kilogramo que representa el 10 %, 20 % y 30 % del total a aplicar y la cantidad total si se requiriera utilizar el 100 % de nitrógeno, que corresponde a 5 kg, 10 kg y 15 kg respectivamente.

Beaucarnea guatemalensis es considerada una planta arborescente la cual presenta una relación C:N adecuada para el proceso de producción de compost ya que de acuerdo a los análisis de laboratorio realizados en el laboratorio de la Escuela Nacional Central de Agricultura se encuentra en 30:1, lo cual se puede deber a que los materiales que se utilizan principalmente son las hojas de esta planta, además el material es joven relativamente, lo cual hace que la cantidad de urea necesaria por cada 2.5 t de *B. guatemalensis* a compostar sea de 50 kg.

2.5.2 Establecimiento de la concentración de urea adecuada que muestre influencia sobre los factores temperatura y pH

De acuerdo con Espinoza Oyarzu, 2012 la urea es utilizada como fertilizante agrícola en aplicación directa, materia prima para la elaboración de mezclas junto al fosfato diamónico y el cloruro de potasio.

Entre las principales ventajas del uso de la urea es la alta concentración de nitrógeno que representa el 46 % de nitrógeno, lo que se puede traducir en mayor cantidad de producto por área aplicada. La alta solubilidad facilita su rápida incorporación al suelo a través del agua y precio atractivo. El precio es inferior a los abonos nítricos.

Es importante tomar en cuenta que el uso inapropiado de urea puede causar contaminación por la volatilización de NH_3 y la lixiviación de NO_3^- . La lixiviación se lleva a cabo cuando los suelos tienen más agua entrante de lo que pueden retener, contaminando el agua subterránea. Se ha demostrado que el uso de urea con compost reduce las pérdidas de nitrógeno por amonificación y nitrificación (Omar, Ahmed, & Majid, 2015). Este factor fue tomado en consideración en la aplicación durante el proceso de compostaje, por lo que se aplicó disuelto en agua en tres aplicaciones, una diaria.

A. Temperatura

La descomposición es un proceso por medio del cual se simplifican moléculas complejas en moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, por medio de la actividad microbológica, que se puede observar por medio de los cambios de temperatura. En la figura 14 se muestra el comportamiento de la temperatura por tratamiento, en el cual se observa que a los 10 días del establecimiento de las pilas de compost se completó la fase mesófila para todos los tratamientos, por lo que hubo un aumento de la actividad microbiana.

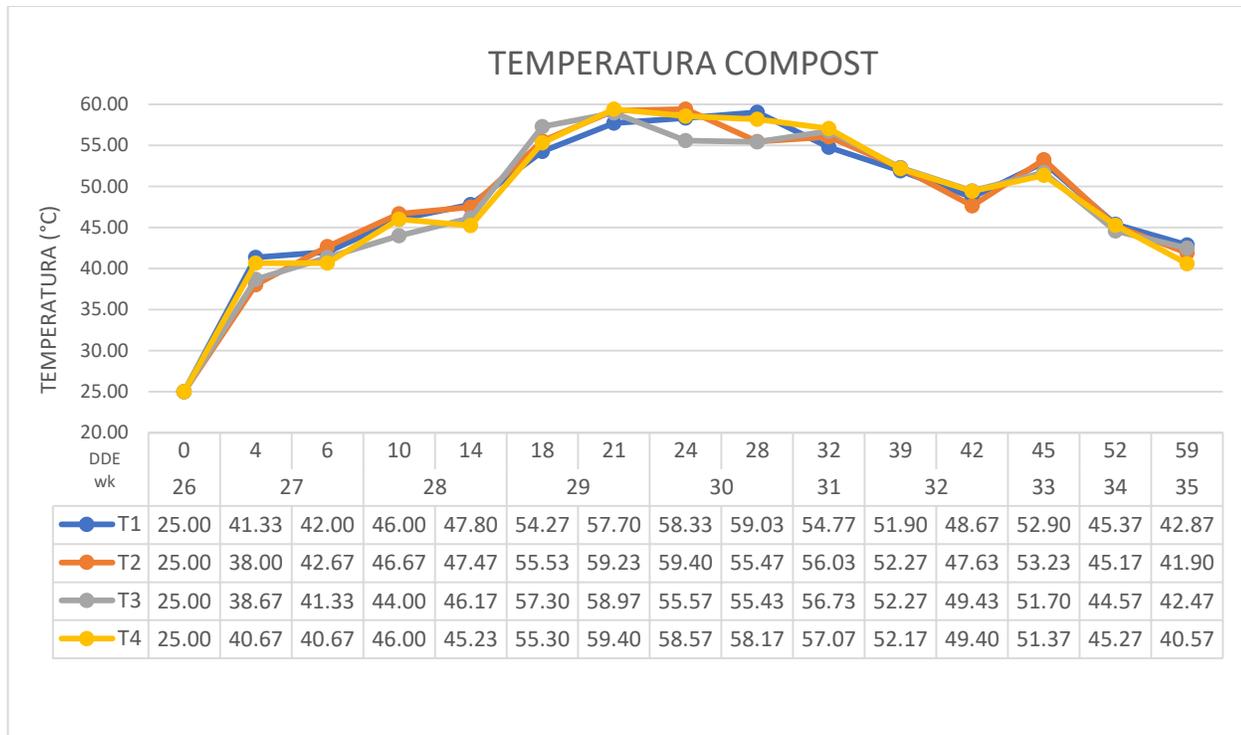


Figura 14. Comportamiento de la temperatura por tratamiento durante el proceso de compostaje.

El aumento de la descomposición genera energía que se libera en forma de calor y se refleja como un incremento de la temperatura, lo que permite que los microorganismos termófilos empiecen a aumentar, respecto a los tratamientos, tienen un comportamiento similar en el aumento de temperatura entre los 10 y los 14 días del establecimiento, en la cual la mayor temperatura promedio se alcanzó desde los 21 a los 28 días. Al alcanzar el máximo de temperatura se garantiza la eliminación de los organismos patógenos y semillas de arvenses, es decir higienización del producto final.

De acuerdo con el análisis de varianza se tiene una diferencia significativa entre la variable tiempo respecto a temperatura con una confiabilidad del 95 % y coeficiente de variación de 6.27 %, por el contrario, las variables temperatura respecto al tratamiento no son significativamente diferentes, lo cual quiere decir que el nitrógeno adicionado en forma de urea no tuvo efecto sobre el proceso de compostaje respecto a este factor para los tratamientos evaluados (cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para el tiempo vs la temperatura.

Variable		N	R2	R2AJ	CV
TEMPERATURA		180	0.9	0.89	6.27
F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	13617.22	12	1134.77	123.91	<0.0001
Tratamiento	7.45	3	2.48	0.27	0.846
Semana	13609.76	9	1512.2	165.12	<0.0001
Error	1529.43	167	9.16		
Total	15146.65	179			

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey para obtener en que intervalos de tiempo se obtuvieron las mayores temperaturas (cuadro 10), las cuales se alcanzaron entre los 21 a los 28 días del establecimiento de las pilas de compostaje, es decir se obtuvo la mayor higienización durante este periodo lo cual previene el crecimiento y diseminación de patógenos, destrucción de los que hay presentes y muerte de semillas de arvenses.

Cuadro 10. Prueba de medias de Tukey para la temperatura.

DDE	Medias	n	E.E.							
21	58.83	12	0.83	A						
24	57.97	12	0.83	A						
28	57.03	12	0.83	A						
32	56.15	12	0.83	A	B					

Continuación cuadro 10

18	55.6	12	0.83	A	B					
45	52.3	12	0.83		B	C				
39	52.15	12	0.83		B	C				
42	48.78	12	0.83			C	D			
14	46.67	12	0.83				D			
10	45.67	12	0.83				D	E		
52	45.09	12	0.83				D	E		
59	41.95	12	0.83					E	F	
6	41.67	12	0.83					E	F	
4	39.67	12	0.83						F	
0	25	12	0.83							G

Uno de los factores más importantes en el proceso de aumento de temperatura es el volteo de pilas de compostaje, de acuerdo con Linneo-sistemas-y-técnicas “es uno de los sistemas más sencillos y económicos”. El volteo permite realizar una homogeneización de la mezcla y permite controlar los factores más importantes que permiten promover el proceso correcto para los microorganismos, entre los cuales se encuentran: humedad, temperatura y mejorar la ventilación.

De acuerdo con Román, Martínez & Pantoja, 2013 la temperatura puede determinar diferentes etapas, la fase mesófila es la etapa inicial y refleja un aumento de un máximo de 45 °C y puede durar entre dos y ocho días, la etapa termófila puede durar desde unos días hasta meses, la fase de enfriamiento puede durar varias semanas y la maduración puede durar varios meses.

Para esta mezcla de compostaje realizada de acuerdo con la clasificación planteada por el autor citado la etapa mesófila duro entre 10 y 14 días para las pilas de compostaje de acuerdo con la prueba de medias de Tukey realizada (cuadro 9).

La etapa termófila comenzó a los 14 y termino a los 52 días con un repunte en el aumento de temperatura a los 45 días debido a que no se realizó volteo, proceso que de acuerdo con Solarsom (2014) permite el control de la temperatura y humedad.

Posterior a la finalización de la fase termófila se procedió a la fase de enfriamiento la cual se alcanzó cuando la temperatura descendió hasta 40 °C – 45 °C que se alcanzó ente los 52 y 59 días. Las variaciones que se tienen en el tiempo en el cual se completan las fases de compostaje de acuerdo con la temperatura están directamente relacionados con la materia prima utilizada, para lo cual durante la fase de establecimiento del experimento la temperatura promedio fue de 23 °C y humedad relativa mayor a 80 %.

B. pH

En la figura 15 se detalla el comportamiento de la variable de respuesta pH respecto al tiempo en la cual se tienen cada uno de los tratamientos medidos a los 0, 10, 28, 39 y 45 días.

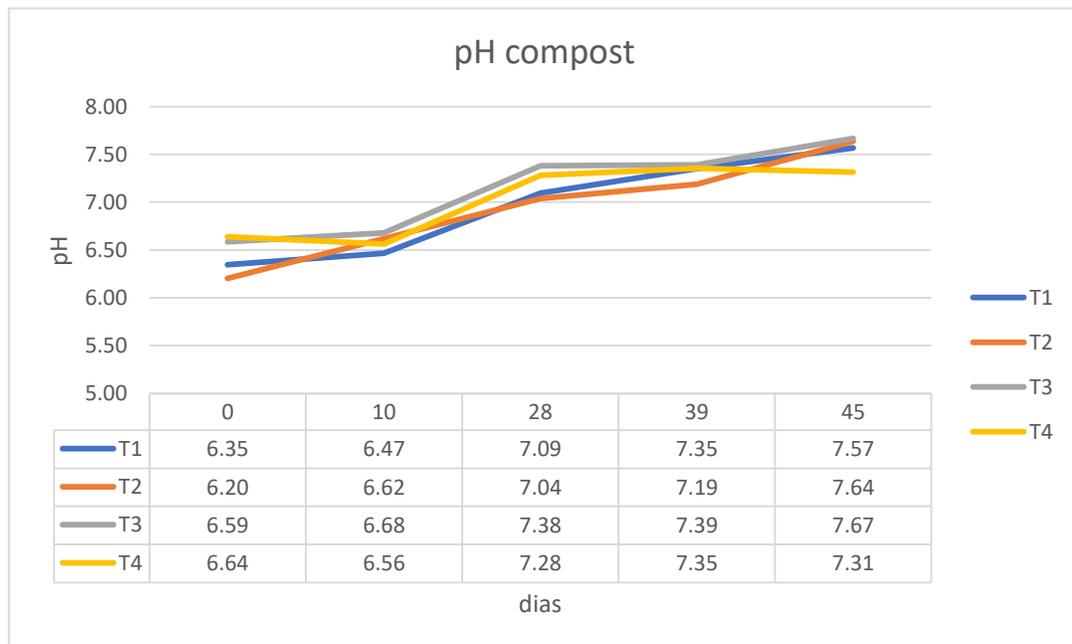


Figura 15. Comportamiento de la pH por tratamiento durante el proceso de compostaje.

La importancia de pH en el avance de la descomposición de la materia orgánica radica en que este parámetro condiciona en gran medida la actividad biológica, debido a que un pH fuera del rango puede ser perjudicial para el proceso y además es un indicador indirecto de la aireación que se le proporciona a la mezcla.

Al igual que para la temperatura, se caracteriza por la división por etapas, para el pH se determinan tres etapas, la etapa mesófila se caracteriza por un pH tendiente a ácido, debido a la liberación de ácidos orgánicos ocasionados por la actividad metabólica de los microorganismos por la descomposición rápida de los lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos.

La fase termófila, se caracteriza por la alcalinización del medio debido a la descomposición de nitrógeno presente en el material orgánico formándose amoníaco que por la presencia de humedad se diluye formando amonio, para finalmente estabilizarse (Brito, Viteri, Guevara, Villacrés, Jara, Jiménez, Parra, 2016)

El producto final de acuerdo con Suber y Col debe estar entre 7.5 y 8, por el contrario, Altamarino, M., Cabrera., C, 2006 en Brito *et al*, 2016 considera que valores de pH entre 6 a 9 son óptimos en el proceso de compostaje.

De acuerdo con la figura 10 la fase mesófila se completa a los 10 días con un pH ligeramente ácido. Mientras que la fase termófila se observa un aumento considerable hasta los 39 días con aumentos de pH muy bajo, lo cual no muestra una tendencia de aumento paulatino. De acuerdo con el análisis de laboratorio realizado el pH se encuentra en 8 lo cual muestra que se obtuvo una buena aireación durante el proceso de compostaje.

El análisis de varianza realizado con una confiabilidad de 95 % no muestra diferencia significativa de los tratamientos respecto a la variable pH (cuadro 11). Sobre la cual se esperaba en la fase inicial o mesófila una disminución por la descomposición de ácidos

orgánicos y la aplicación de urea; debido a que la reacción de esta molécula tiende a acidificar por la hidrólisis y oxidación de amonio.

Cuadro 11. Análisis de varianza de tres diferentes niveles de nitrógeno, respecto a variable de respuesta pH.

Variable	N	R²	R² Aj	CV	
pH	60	3.60E-03	0	9.47	
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.09	3	0.03	0.07	0.9772
Tratamiento	0.09	3	0.03	0.07	0.9772
Error	24.24	56	0.43		
Total	24.32	59			

Esto puede deberse a que los intervalos de medición de esta variable fueron muy espaciados, lo cual no permite demostrar la tendencia real, ya que de acuerdo a Román, Martínez & Pantoja (2013) la diferencia debe identificarse entre los dos y ocho días, para lo cual el siguiente registro se tiene a los 10 días donde se empieza a observar un aumento de pH lo cual indica que las pilas iniciaron la fase termófila, en donde el compost tiende a alcalinizarse hasta alcanzar un pH entre 7.5 y 8, lo cual de acuerdo al análisis de laboratorio realizado para los tratamientos 1 y 3 se obtuvo un pH de 8 (cuadro 9).

2.5.3 Relación C:N

De acuerdo con Román, Martínez & Pantoja la relación (2013) C:N se define como la cantidad de carbono respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material. En el cuadro 12 se tienen los resultados de laboratorio realizados al finalizar la prueba de compostaje, al obtener como resultado un material degradado, en el cual se obtuvieron datos de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y relación C:N.

Cuadro 12. Resultado de análisis de laboratorio de los tratamientos 1 y 3 realizado en el laboratorio.

TRATAMIENTO	pH	EC (DS/m)	MO (%)	RELACION C:N
Tratamiento 1	8	2.63	33.3	59.5
Tratamiento 3	8	3.47	30.3	48.9

La importancia de la relación C:N radica en que esta es esencial para el proceso de descomposición en los microorganismos ya que su composición química se estima que tiene 10 partes de carbono por 1 de nitrógeno, lo que conduce a que el proceso se realice de una forma rápida y evita la mayor cantidad de patógenos posibles, al tener una relación C:N fuera del rango requerido este no será asimilable para el metabolismo y la eficiencia de asimilación se encuentra en alrededor del 30 %.

Se considera una relación estable para iniciar el proceso a una relación desde 15:1 hasta 30:1 de acuerdo con diferentes autores debido a las pérdidas que existente de los elementos por lixiviación o por perdidas en forma de gases tanto de carbono como nitrógeno (Tortosa, 2018).

La relación C:N muestra también el grado de descomposición del compost, el cual para el Testigo y Tratamiento 3 (cuadro 12) son considerablemente altas, mientras que el resultado final según Román, Martínez & Pantoja debe encontrarse en 15:1, y Ambientum, 2019 indica que la relación final debe encontrarse entre 12 y 18, mientras USDA identifica a un compost maduro desde 8:1 a 14:1 lo cual es un indicador, además de la temperatura que el proceso de descomposición probablemente no había finalizado ya que no se alcanzó la etapa de maduración en la cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos que permite la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

También es importante recordar que debido al proceso de descomposición existen perdidas de nitrógeno por los procesos de mineralización, lixiviación y nitrificación por lo que con

respecto a la relación C:N de las materias primas la concentración de nitrógeno disminuye hasta en un 50 %.

La relación C:N del tratamiento uno respecto al tratamiento tres varia en alrededor de 20 % lo cual está relacionado a que el tratamiento 1 no posee aplicación de nitrógeno, por lo que el nitrógeno proveniente de la materia prima sufrió pérdidas mientras que al aplicar una cantidad de nitrógeno adicional (20 % de nitrógeno para el tratamiento 3) a la mezcla este puede estabilizarse ya que parte de este, por su composición química en forma de partículas de amonio y nitrato tiene una tasa de asimilación mayor por los microorganismos.

Por el contrario, en el tratamiento uno las moléculas deben sufrir el proceso de degradación a unas más simplificadas, considerando que este elemento es importante ya que proporciona energía a los microorganismos.

En el cuadro 12 se observa que la variación en la materia orgánica es 3 % del tratamiento 3 respecto al tratamiento 1, lo que puede deberse a que el tratamiento 3 al tener nitrógeno permite una mayor degradación de las partículas y una mayor mineralización, para poder observar si existe una diferencia significativa en el porcentaje de materia orgánica es necesario realizar pruebas con el total de nitrógeno necesario para obtener la relación C:N ideal al iniciar el proceso.

Con respecto al material inicial se observa una disminución del 20 % de materia orgánica, esto se debe a que a lo largo del proceso los microorganismos transforman el carbono, que es el constituyente principal de la materia orgánica, en CO₂, ácidos húmicos y otros compuestos. De acuerdo con Chávez, L, 2012 en Brito *et al*, 2016 el valor de este parámetro se debe encontrar entre 25 % y 70 %.

En el cuadro 13 se detallan los resultados del análisis de laboratorio realizado para los tratamientos 1 y 3 en los cuales se detalla en porcentaje respecto al peso los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio y los microelementos en ppm.

Cuadro 13. Resultado de análisis de laboratorio para los tratamientos 1 y 3 para macroelementos.

ELEMENTOS	UNIDAD MEDIDA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 3
NITROGENO	% p/p	0.56	0.62
FOSFORO (P ₂ O ₅)	% p/p	0.46	0.46
POTASIO (K ₂ O)	% p/p	0.46	0.58
CALCIO (Ca)	% p/p	1.21	1.28
MAGNESIO (MgO)	% p/p	0.36	0.38
BORO (B ₂ O ₃)	ppm	74.19	105.18
COBRE (Cu)	ppm	56.53	59.25
HIERRO (Fe)	ppm	7076	6044
MANGANESO (Mn)	ppm	420.15	413.6
Zinc (Zn)	ppm	30.54	54.35

De acuerdo con los resultados obtenidos de los dos tratamientos a los que se les realizó análisis de laboratorio, se observa que el nitrógeno presente es mayor en el tratamiento 3 (10 % de urea), el cual muestra una diferencia de 10 % de este elemento lo cual puede deberse en gran medida a la aplicación de urea. (Cuadro 13).

De acuerdo con Diaz, 2004 afirma que “entre el inicio y final del del proceso existe un aumento de la concentración de nutrientes, ocasionado por la pérdida de materia orgánica”, lo cual para el caso del fosforo se tiene un aumento (cuadro 7 y 13) el cual de acuerdo con Brito *et al*, 2016 se incrementa debido a la perdida de materia orgánica que es mineralizada durante todo el proceso. La importancia de este elemento radica en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Márquez, Díaz, & Cabrera, 2008).

2.6 CONCLUSIONES

1. La verificación de desechos orgánicos comenzó desde la medición de la cantidad de desechos orgánicos generados en Palki, de los cuales se divide en tres grupos los cultivos: 1. *Beaucarnea guatemalensis*, 2. Suculentas y cactus y 3. *Sansevieria spp.* mensualmente se producen 96.2 m³/mes de los cuales el 85 % corresponde al grupo 1, 12 % al grupo 2 y 3 % al grupo 3, a raíz de esto se realizaron los análisis de laboratorio al grupo 1 y 2 por temas de costo.

Se obtuvo que el grupo 1 tiene una relación C:N de 21 y el grupo 2 de 11, esto se debe al origen, ciclo de cultivo y manejo agrícola. La relación de la materia prima para el compostaje muestra una relación C:N estable de acuerdo con los resultados de laboratorio, siendo una relación C:N ideal para la descomposición permitiendo que los microorganismos puedan realizar el proceso.

2. Se estableció que tanto la variable temperatura y pH varían con respecto al tiempo de compostaje, pero no con respecto a la aplicación de urea a la mezcla, lo cual puede estar directamente relacionado con las concentraciones aplicadas. La primera variable muestra las mayores temperaturas entre los 21 y 28 días lo cual es importante para prevenir el crecimiento y diseminación de patógenos, destrucción de los que hay presente y muerte de semillas de arvenses, logrando completar la etapa inicial a los 10 días, la fase termófila entre los 21 y 28 con el máximo de temperatura, y la fase de enfriamiento culminando entre los 51 y 54 días.

La utilidad de la variable pH es muy discutida en la fase final de proceso, ya que varios autores citan que el rango óptimo puede encontrarse entre 6 a 9, en el cual se desarrolla la variación durante el proceso, por lo que para definir el pH óptimo final es importante tomar en cuenta las áreas en las que se utilizara definiendo las necesidades de este, para este caso se tomó como referencia pH de 8, el cual fue alcanzado para todos los

tratamientos. Durante el proceso esto define la actividad metabólica de los microorganismos, el cual mostro un comportamiento normal en todos los tratamientos.

3. De acuerdo con los análisis realizados no se puede establecer una diferencia entre el contenido nutricional, debido a que no se analizaron el total de tratamientos. Por otro lado, la relación C:N para los tratamientos analizados que son el testigo y el tratamiento 3 (20 % de nitrógeno) es alta lo que significa que el nitrógeno disminuyo en un 50 % por pérdidas en el proceso de mineralización de materia orgánica lo que equivale, por ende, a un aumento en la cantidad de carbono presente en la mezcla. Al comparar la relación C:N del tratamiento 1 respecto al 3 se obtuvo una variación del 50 %, esto se debe a que el tratamiento 3 presenta 20 % de nitrógeno adicional comparado al 1 lo que representa una mayor degradación de la materia orgánica.

2.7 RECOMENDACIONES

1. Evaluar la variable pH con intervalos de tiempo más cortos para poder observar los cambios de fase y poder obtener un análisis más acertado del comportamiento químico y comprobar el efecto de acidificación inicial ocasionado por la adición de urea.
2. Aumentar las concentraciones de urea aplicada utilizando el 50 % y 100 % de nitrógeno requerido para poder analizar si existe diferencia significativa con respecto a las variables de respuesta utilizando dosis mayores
3. Evaluar el total de muestras para comparar estadísticamente las variables, debido a que por temas de costo no se pudo tomar en cuenta el total de unidades experimentales para determinación de las variables de respuesta.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Ambientum, Canadá. (2019). *Relación carbono nitrógeno*. Obtenido de Canadá: Ambientum:
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp
2. Arteaga, A., Barrios, R., & Mujica, C. (2011). *Influencia de la urea y de dos biofertilizantes sobre el compostaje de raquis de racimos de palma aceitera*. Obtenido de Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo (19., 2011, Venezuela). Calabozo, Estado Guárico, Venezuela: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. UMS25:
https://www.researchgate.net/publication/308741559_INFLUENCIA_DE_LA_UREA_Y_DE_DOS_BIOFERTILIZANTES SOBRE_EL_COMPOSTAJE_DE_RAQUIS_DE_RACIMOS_DE_PALMA_ACEITERA
3. Barrera, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. Obtenido de (Tesis Lic. Ciencias Amb., Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad Ingeniería Química: Barcelona, España): <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
4. Brito, H., Viteri, R., Guevara, L., Villacrés, M., Jara, J., Jiménez, S., . . . Parra, C. (2016). *Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba*. Obtenido de European Scientific Journal, 12(29), 76-94: <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76>
5. Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M., & Cabrera Capitán, M. (2008). *Factores que afectan al proceso de compostaje*. Obtenido de España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla:
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
6. Campos, E., Palatsi, J., Alibés, J., Solé, F., Aloy, A., & Flotats, X. (2004). *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. Obtenido de Catalunya, España: Agencia de Residuos de Catalunya / Département d'Agricultura, Ramaderia i Pesca: http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf
7. Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). *Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the valuation of compost maturity*. Obtenido de Waste Management,

25(2), 209-213:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X05000152>

8. Classic Fox Valley, USA. (2020). *Diferencia entre nitrógeno orgánico e inorgánico*. Obtenido de Classic Fox Valley: <https://es.classicfoxvalley.com/collate/difference-between-organic-and-inorganic-nitrogen/>
9. Comisión para la Cooperación Ambiental, Canadá (CCA). (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte*. Montreal, Canadá: CCA.
10. Cuellar Paz, D. F., & Rotavisky Guerrero, L. (2013). *Diseño experimental: Un enfoque a la reproducción de las lombrices*. Obtenido de (Tesis Ing. Ind., Universidad de ICESI, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial: Santiago de Cali, Colombia): https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76623/1/dise%C3%B1o_experimental_enfoque.pdf
11. Diaz, M. J. (2004). *Using a second order polynomials model to determinate the optimum vinasse/grape marc ratio for in vessel composting*. Obtenido de Compost Science & Utilization, 12(3), 273-279 : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1065657X.2004.10702192>
12. Docampo, R. (2013). *Compostaje y compost*. Obtenido de Revista INIA, no. 35, 63-67: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>
13. El Terregal de Ray. (2018). *Relación carbono nitrógeno (C/N) en los abonos orgánicos*. Obtenido de El Terregal de Ray: <https://es.slideshare.net/rayo2882/relacion-carbono-nitrgeno-en-compostas>
14. Escuela de Capacitación Agraria y Agroalimentaria, España. (2009). *Los materiales a comportar*. Obtenido de España: Junta de Castilla y León: <http://www.agroecologia.net/recursos/material%20divulgativo/2009/encuentro-fp-catarroja/TEMA%204%20word%20entrega.pdf>
15. Espinoza Oyarzu, J. (2012). *La urea y su comercialización en Chile*. Obtenido de Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2012/07/urea.pdf>
16. Estrada Navarro, E. A. (2010). *Manual técnico agrícola: Elaboración de sólidos, Tipo compost*. Obtenido de Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA): <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Suelos/abonosOrganicos.pdf>

17. Fernandez del Pozo, M. (1984). *La urea, fertilizante nitrogenado*. Obtenido de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (Investigación y Progreso Agropecuario La Platina):
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/28476/NR02557.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

18. Gallardo Minaya, K. P. (2013). *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana*. Obtenido de (Tesis MSc., Universidad Nacional de Ingeniería: Lima, Perú): <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1222>

19. Jaramillo Henao, G., & Zapata Marquez, L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Obtenido de (Tesis Esp.Gest. Amb., Universidad de Antioquía, Facultad de Ingeniería, Posgrados de Ambiental: Antioquía, Colombia): <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

20. Jarre Casstro, E. (2005). *Planta de compostaje de RSU y residuos cítricos industriales*. Obtenido de (Tesis MSc. Ing. Amb.. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería: Sevilla, España):
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70677/fichero/01.CUBIERTA+Y+PORTADA.pdf>

21. Miyatake, F., & Iwabuchi, K. (2006). *Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure*. Obtenido de Bioresources Technology, 97(7), 061-965:
https://www.researchgate.net/publication/7767505_Effect_of_compost_temperature_on_oxygen_uptake_rate_specific_growth_rate_and_enzymatic_activity_of_microorganisms_in_dairy_cattle_manure

22. Negro, M. J., Villa, F., Alarcon, R., Ciria, R., Cristobal, M. V., Martin, A., . . . Labrador, C. (2009). *Producción y gestión del compost*. Obtenido de Madrid, España: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT):
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>

23. Omar, L., Ahmed, O. H., & Majid, N. M. (2015). *Improving ammonium and nitrate release from urea using clinoptilolite zeolite and compost produced from agricultural wastes*. Obtenido de The Scientific World Journal, 2015, 574201, 12 p.:
<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2015/574201/>

24. Palmero Palmero, R. (2010). *Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones*. Obtenido de Tenerife, España: Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural del Cabildo Insular de Tenerife:

<https://es.slideshare.net/GerTor/elaboracin-de-compost-con-restos-vegetales-por-el-sistema-tradicional-en-pilas-o-montones-por-rafael-palmero-palmero>

25. Panduro Acosta, F. A. (2015). *Materia prima y fases del compostaje*. Obtenido de Colombia: Innova Schools: <https://es.slideshare.net/FlavioAAcosta/materia-prima-y-fases-del-compostaje>
26. Pardo Palomino, J. G. (2014). *Relación de temperatura y potencial de hidrógeno en la elaboración de abonos orgánicos con microorganismos eficientes*. Obtenido de (Informe PrePrácticas, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables: Tinga María, Perú): https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/Practica%20Pre%20Profesional%20-%20Josue%20Gianfranco%20Pardo%20Palomino_0.pdf
27. Rittenhouse, T. (s.f.). *Hoja de datos, compost*. Obtenido de USA: United States Department of Agriculture (USDA), Centro Nacional de Tecnología Apropriada (NCAT): <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Compost.pdf>
28. Rojas Pérez, N. F., & Zeledón Vilchez, E. A. (2007). *Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost; Hacienda Las Mercedes, Managua 2005*. Obtenido de (Tesis Ing. Agr., Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía: Managua, Nicaragua): <https://repositorio.una.edu.ni/2036/1/tnq02r741.pdf>
29. Roman, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Obtenido de Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
30. Salas, R., Molina, E., & Castro, A. (1995). *Efecto de dosis y fuentes de fertilizantes nitrogenados*. Obtenido de Agronomía Costarricense, 19(2), 1-5: https://www.mag.go.cr/rev_agr/v19n02_001.pdf
31. Solarsom, España. (2014). *Guía de compostaje utilizando el sistema de vaso industrial*. Obtenido de España: Bastan / Basol / Solarson: https://www.ison21.es/wp-content/uploads/2017/06/guia_de_compostaje.pdf
32. Sztern, D., & Pravia, M. (1999). *Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos*. Obtenido de Uruguay: Presidencia de la República / Organización Panamericana de la Salud: <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>

33. Tortosa, G. (2013). *El pH durante el compostaje*. Obtenido de España: Compostando Ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2013/11/ph-en-el-compostaje-html/>
34. Tortosa, G. (2014). *Asimilación del nitrógeno por los microorganismos del suelo*. Obtenido de España: Compostando ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2014/02/nitrogeno-y-microorganismos-del-suelo-html/>
35. Tortosa, G. (2018). *La importancia de la relación carbono-nitrógeno en un compost*. Obtenido de España: Compostando Ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2018/04/la-importancia-de-la-relacion-carbono-nitrogeno-en-un-compost/>
36. Unions Agrarias-UPA, España. (2013). Manual de compostaje. Santiago de Compostela, España: ECOREGA, España. Obtenido de Unions Agrarias-UPA: https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ECOREGA_Manual_Compostaje.pdf
37. United States Department of Agricultura, National Organic Program, USDA ((NOP). (2011). *Guidance compost and vermicompost in organic crop production*. Obtenido de USA: United States Department of Agricultura, National Organic Program: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/5021.pdf>
38. Yacimientos Petroliferos Fiscales, Argentina (YPF). (2012). *Ficha comercial: Urea 46-0-0*. Obtenido de Argentina: YPF: <https://www.ypf.com/ProductosServicios/Documents/UREA.pdf>
39. Yépez Jimenez, B., & Pulgarin Pineda, L. (2018). *Ventajas y desventajas*. Obtenido de Ciencias del suelo: <https://elsueloysubiologia.wordpress.com/compostaje/ventajas-y-deventajas/>



CAPÍTULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ,
GUATEMALA, C.A.**

2.9 PRESENTACIÓN

Las cactáceas constituyen una familia de plantas suculentas que comprende más de 2500 especies, sus representantes son conocidos comúnmente como cactus. Son originarios del continente americano. De esta numerosa familia en la actualidad existe un gran número de especies que se cultivan como plantas ornamentales en zonas tropicales. (MINAG, 2017). Existe mucha expectativa respecto a este producto debido al aumento del interés de los aficionados a la jardinería para las cactáceas.

Se considera que las zonas tropicales tienen una ventaja competitiva debido a que países como Europa, Asia y África no cuentan con especies endémicas ni un clima apropiado para su desarrollo. Una planta pequeña se encuentra en un valor entre 5 y 10 dólares, o más, dependiendo de la especie. Según Meyran, A, et al., 2000 en Sandoval, 2005 en los últimos años la demanda se ha incrementado tanto para las variedades selváticas como las de desierto, aunque las variedades de desierto son más populares.

Durante más de dos años se ha producido cactus en la finca Palki, el proyecto sigue en una fase de expansión y las exportaciones han aumentado. Debido a la falta de información generada por instituciones es importante generar un conocimiento general sobre las etapas de desarrollo para observar un panorama general de crecimiento de las especies que actualmente comercializan lo que permite realizar proyecciones anuales de venta y entrega con el fin de obtener una planificación a largo plazo desde la siembra hasta las cosechas y exportaciones.

Por lo que se trabajó en una base de datos para cactus y pony con el fin de obtener información del desarrollo y crecimiento de las variedades comerciales de mayor importancia económica.

El tercer servicio consistió el conteo y recolección de desechos orgánicos con el fin de evaluar las ventajas del compostaje en cada uno de los productos producidos por la empresa.

2.10 Servicio 1: Sistematización de curvas de crecimiento en el área de cactus, finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.

2.10.1 Objetivos

A. Objetivo general

Sistematizar la base de datos de crecimiento en el área de cactus, por medio de recopilación de información en campo.

B. Objetivos específicos

1. Realizar mediciones en campo de las características morfológicas de las variedades de mayor importancia comercial en el área de cactus.
2. Organizar los datos procedentes de campo en base a las etapas fenológicas.

2.10.2 Metodología

Para la sistematización de la base de datos se dividió en dos fases de trabajo, que consistieron en la medición de las características morfológicas de las variedades de mayor importancia económica y la segunda una fase de gabinete en la que se realizó la tabulación de información y análisis.

A. Medición de características morfológicas

Algunas medidas de crecimiento que se utilizan son medidas de altura de la planta, diámetro del tallo, masa fresca y masa seca, aumento de volumen, diámetro a la altura del pecho

DAP, área foliar que permiten realizar el análisis de crecimiento (Barrera, 2010). A continuación se detalla las características morfológicas que se utilizaron y como se realizó la medición:

1. Altura del tallo: la altura se medirá desde la base del tallo hasta la parte más alta del mismo. En el caso de presentarse más de una planta por maceta se medirá las tres y se realizará un promedio de altura por maceta.
2. Diámetro de tallo: para la medición de esta variable se tomará la medición a la mitad de la altura total del tallo.

Los criterios que se utilizaron para la toma de muestras fue la siguiente:

1. Las muestras se tomaron aleatoriamente para la primera medición, se numeraron las muestras elegidas para poder realizar el seguimiento a estas plantas.
2. La muestra se unifico a 100 plantas por variedad en cada etapa de crecimiento, ya que la cantidad de plantas por variedad era variable y podía cambiar durante el periodo de la medición.
3. Se realizaron mediciones semanales de las muestras por 20 semanas en cada etapa fenológica por variedad.

B. Organización de la información

La organización de la información consistió en la tabulación en la base de datos, la cual se realizaba semanalmente después de realizar la recolección de información en campo. Al finalizar la fase de medición en campo se realizó el análisis de la información por variedad y se realizaron las curvas de crecimiento correspondientes.

2.10.3 Resultados

A. Medición en campo

A partir de la tabulación de la información se clasificaron los resultados obtenidos en tres grupos de acuerdo con su forma, para poder analizar la información de forma más fácil, como se muestra en la siguiente figura

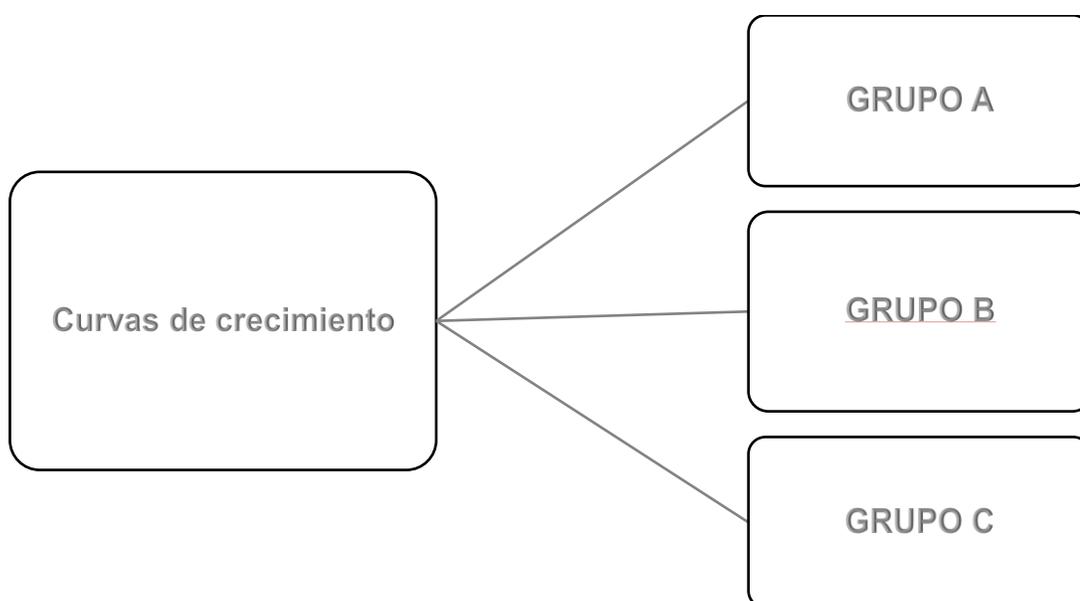


Figura 16. Clasificación de las curvas de crecimiento realizada en el área de cactus.

Fuente: elaboración propia.

Para la elaboración de la base de datos se tomó en cuenta la siguiente información

1. Lote de producción.
2. Variedad.
3. Semanas de ciclo.
4. Grupo al que pertenece.
5. Etapa fenológica.
6. Requerimientos del cliente.

B. Organización de datos

Para el grupo A y B se midió la variable altura debido a que las especificaciones de los clientes son dadas por esta, mientras para el grupo C se midió el diámetro (figura 17). El grupo A presenta un promedio de 16 mm/semana de crecimiento, el grupo B de 17 mm/semana y el C de 11 mm/semana. El crecimiento es similar para el grupo A como para el B, puede deberse en gran medida a que estas presentan una similitud en la forma y la cantidad de hijos producidos o sembrados por maceta, por lo que si se reduce la cantidad de hijos aumentará el crecimiento promedio para estas variedades. Mientras el grupo C varía en su crecimiento respecto a los otros dos grupos, aunque se debe considerar que la variable de crecimiento es diferente.

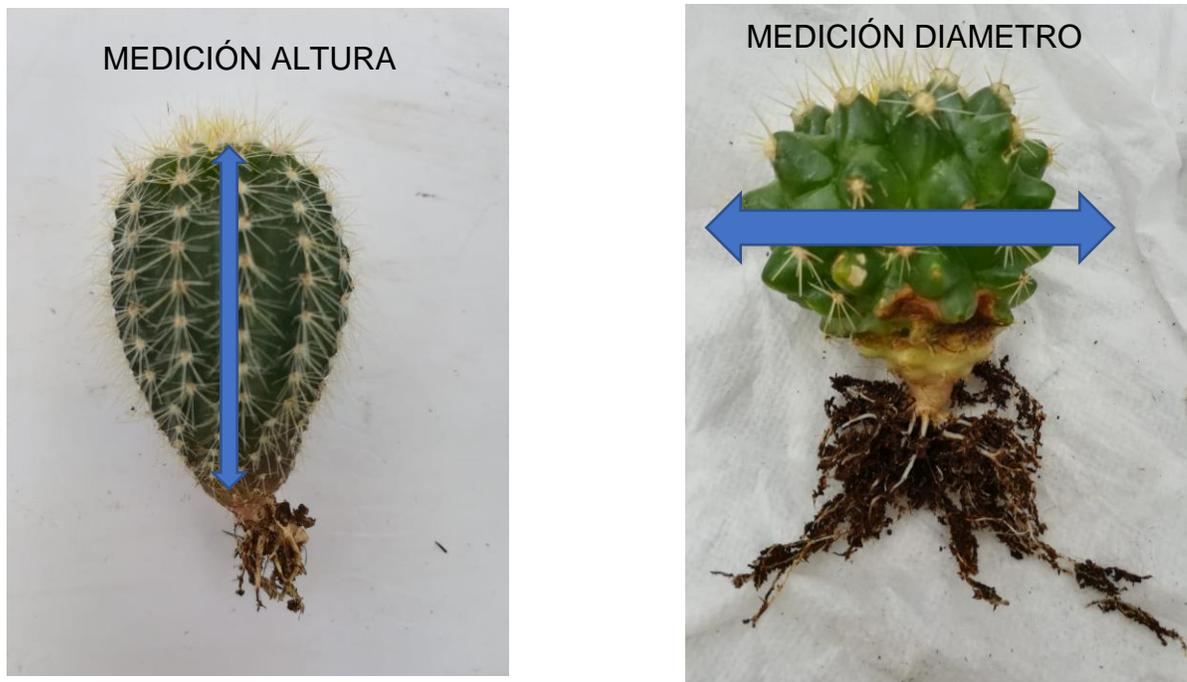


Figura 17. Medición de variables: grupo A y B altura, grupo C diámetro

Posteriormente se realizó un método de búsqueda por variedad en la base de dato para fines prácticos de proyecciones pudiendo observar cada una por separado con la variable

de respuesta de interés, en la cual se obtiene información como especificaciones del cliente, variedad, crecimiento promedio, número de maceta en la cual se realizó la medición.

2.10.4 Evaluación del servicio

1. Las mediciones en campo de las características morfológicas permitieron obtener datos relevantes que permitieron crear estándares de crecimiento en la producción que ayudan, por medio de la sistematización de procesos a realizar técnicas uniformes en cada una de las actividades agrícolas para poder obtener la mayor productividad en los tiempos estimados de venta y con esto poder reducir de manera sistemática pérdidas por procesos productivos lentos.
2. La hoja electrónica que contiene la información de crecimiento recabada en el presente servicio se organizó en 97,278 celdas, a partir de esto, se realizaron gráficas por medio de las cuales se puede realizar análisis de crecimiento por grupo o categoría y medición de interés, en la cual se estima el índice de crecimiento por semana, especificaciones, plantas medidas, cantidad de mediciones realizadas, con el fin de obtener la mayor información posible que se puede utilizar para realizar estimaciones de crecimiento, proyecciones de venta, planificación, entre otros.

2.11 Servicio 2: Sistematización de curvas de crecimiento en el área de *Beaucarnea guatemalensis*, finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.

2.11.1 Objetivo

A. Objetivo general

Sistematizar la base de datos de crecimiento en el área de *B. guatemalensis*, por medio de recopilación de información en campo.

B. Objetivos específicos

1. Realizar mediciones en campo de las características morfológicas de las variedades de mayor importancia comercial en el área de cactus.
2. Organizar los datos procedentes de campo en base a las etapas fenológicas.

2.11.2 Metodología

Para la sistematización de las curvas de crecimiento en el área de pony se realizó una fase de campo en la que se realizó la recolección de información y en la fase dos se organizó la información de campo para poder realizar el análisis

A. Medición características morfológicas

Las características morfológicas analizadas para esta variedad fueron diámetro de bulbo y altura.

1. Altura del tallo: para la altura se tomó desde la base del suelo o sustrato hasta el punto de crecimiento del tallo.
2. Diámetro de bulbo: para esta variable se uso como referencia la parte más ancha del bulbo que se encontrara a ras del suelo o sustrato.

B. Organización de base de datos

La organización de la información consistió en la tabulación en la base de datos, la cual se realizaba mensualmente debido a que el ciclo de producción de este cultivo es largo y el crecimiento de este es considerado lento. Al finalizar la fase de medición en campo se realizó el análisis de la información.

2.11.3 Resultados

De acuerdo con la información recolectada en campo se evaluaron dos características morfológicas que están relacionadas directamente con los requerimientos de los clientes. Se tomo datos de crecimiento de tres etapas de crecimiento de esta variedad. Es importante recordar que esta puede estar influenciada por factores externos como fertilización, manejo de plagas y enfermedades, época del año por lo que es necesarios realizar una validación de información en diferentes épocas del año y considerando el manejo agronómico sea el mismo, para realizar proyecciones a largo plazo.

Para la medición en campo se tomaron 300 muestras por lote realizando las mediciones mensualmente en cada una de las etapas en evaluación. Las muestras inicialmente fueron tomadas al azar, colocando un banderín como indicador para poder volver a muestrear las mismas plantas durante todo el proceso de recolección de datos. Los datos fueron tomados como se muestra en la siguiente figura.

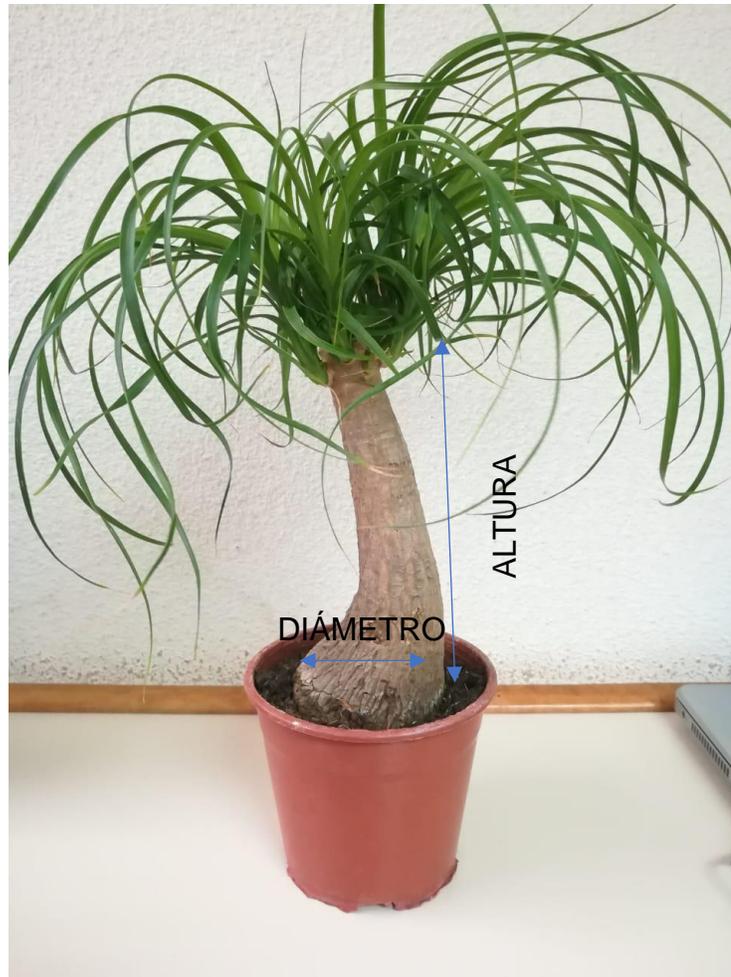


Figura 18. Toma de datos de altura y diámetro de bulbo en *B. guatemalensis*.

Por lo que se determinó que el crecimiento promedio respecto a la variable diámetro es de 11 mm/semana y la altura es de 2.11 cm/semana en cada una de las fases en estudio. De igual forma mediante el programa Microsoft Excel se realizaron las gráficas correspondientes y se realizó la base de datos con la información requerida para poder realizar el análisis y posteriores proyecciones para la toma de decisiones.

2.11.4 Evaluación del servicio

1. La medición de las características morfológicas en campo se realizó tomando en cuenta los requerimientos y las necesidades de los clientes, por lo que los resultados obtenidos son de utilidad para realizar proyecciones de venta, además se utilizó como herramienta para comprobar el crecimiento empírico que se conocía. De igual manera ayuda a la sistematización de información apoyándose de los procesos agrícolas que se realizan para obtener el índice de crecimiento y poder replicar estos para obtener los resultados o por el contrario, poder mejorarlos a partir de un punto de partida claro para futuras investigaciones.
2. La hoja electrónica que contiene la información de crecimiento recaba en el presente servicio realizado se organizó en 82,258 celdas, en las que se evalúan las variables de crecimiento más importantes para la comercialización del cultivo. Esto permite realizar análisis de crecimiento para cada una de las etapas evaluadas, tomando estos tanto como datos tanto históricos o metas para incrementar la producción a corto y mediano plazo.

2.12 Servicio 3: Conteo y recolección de desechos orgánicos en la finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala, C.A.

2.12.1 Objetivo

Realizar el conteo y recolección de desechos orgánicos en la finca Palki

2.12.2 Metodología

La recolección de desechos orgánicos consistió los siguientes pasos

1. Establecimiento del área de compostaje: se procedió a determinar junto al gerente de proyecto la mejor área para realizar la deposición de desechos orgánicos, tomando en cuenta que el propósito final era compostar los desechos orgánicos posterior a la recolección
2. Clasificación de desechos: orgánicos e inorgánicos: se realizó una reunión con los encargados de cada proyecto para que al realizar deposición de desechos se realizará por cultivo y únicamente se depositaran desechos orgánicos.
3. Recolección y conteo de desechos: la recolección se realizaba utilizando como medio de transporte tractor, por lo que al hacerse se debía contar el número de recipientes por área utilizados, posteriormente eran llevados al área asignada separándolos por cultivos. El conteo de desechos se realizó por medio de gavetas de 2.56 m³, por lo que se debía llenarlas completamente para realizar una medición lo más exacta posible.

2.12.3 Resultados

De acuerdo con la metodología planteada se realizó el seguimiento por un mes para obtener como resultado datos más acertados de los desechos generados, con el objetivo de establecer la importancia de cada uno de ellos en el proceso de compostaje y realizar proyecciones de la cantidad que se puede producir de compost por mes a largo plazo, también es necesario considerar en este caso que este va a estar influenciado por diferentes estacionalidades o picos de producción de los cultivos producidos. De lo cual se obtuvo la información que se muestra en la siguiente figura

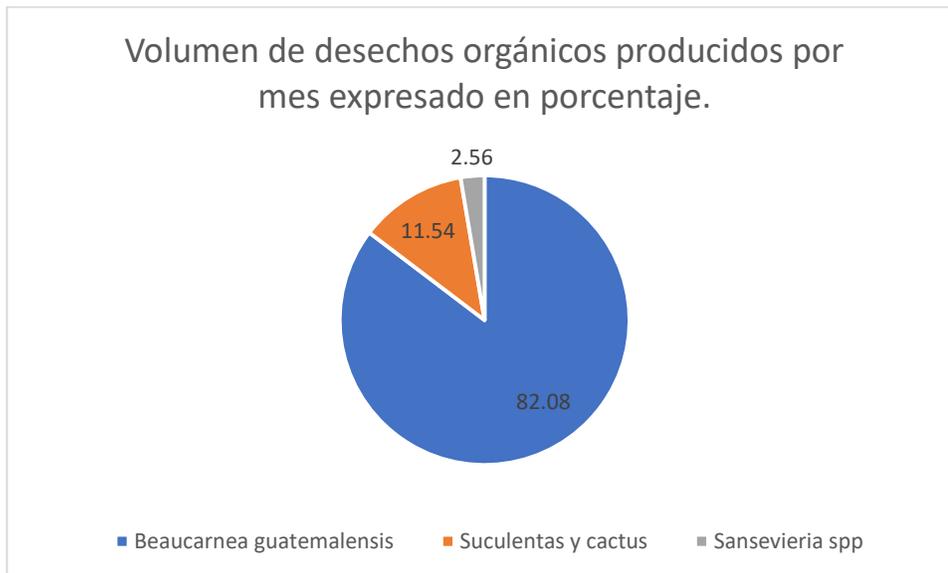


Figura 19. Volumen por mes de desechos orgánicos producidos por área.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el 82.08 % corresponde a *B. guatemalensis* lo cual se debe a que es el producto con mayor volumen de exportación, además que el proceso productivo del mismo implica mayor producción de desechos, aunado al tamaño de la planta el cual es mayor comparado con las suculentas, cactus y *sansevieria spp.*

En el caso de suculentas, cactus y *Sansevieria spp.* durante el ciclo de vida de los cultivos la cantidad de desechos orgánicos se reduce a hojas que presentan daño mecánico y plantas rechazadas tanto en el área de empaque como en el proceso de cosecha y debido a que los tamaños de exportación son considerablemente pequeños las plantas no representa un alto volumen. El mayor volumen de desechos generados por el área de cactus y suculentas es generados por el sustrato al finalizar el ciclo de cultivo en ambas áreas, el cual en la actualidad es reciclado para evitar pérdidas económicas.

2.12.4 Evaluación del servicio

De acuerdo con conteo de desechos orgánicos el cultivo con mayor generación de desechos orgánicos es *B. guatemalensis* que representa el 82.08 % de desechos generados, mientras que el área de suculentas y cactus representa el 11.54 % y el área de *Sansevieria spp.* solo genera el 2.56% de desechos. Esto permite crear una perspectiva clara de la importancia del manejo de desechos orgánicos cuando existen volúmenes de producción altos, en base a lo que se pueden obtener beneficios como reducción de costos en compra de materia orgánica, aumento de producción, aprovechamiento de los recursos, disminución de basureros sin manejo que tienen implicación en la emisión de CO₂ y metano.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUNAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IA-



REF. Sem. 19/2021

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE TRES CONCENTRACIONES DE UREA, COMO FUENTE DE NITRÓGENO PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES DE PLANTAS ORNAMENTALES EN LA FINCA PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA, C.A."

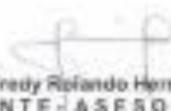
DESARROLLADO POR LA ESTUDIANTE: MURY DANIELA MARTÍNEZ MAGAÑA

CARNÉ: 201408741

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Dr. Isaac Herrera Ibañez
Ing. Agr. César Linneo García
Ing. Agr. Fredy Rolando Hernández Ota

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pese a la Dirección del Área integrada para lo procedente.


Ing. Agr. César Linneo García
ASESOR ESPECÍFICO


Ing. Agr. Fredy Rolando Hernández Ota
DOCENTE-ASESOR EPS


Ing. Agr. Carlos Fernando López Báez
DIRECTOR DEL IA



CFLBim
c.c. Archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA - EPS



**CALIFICACIÓN FINAL DEL PROGRAMA DE
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (EPS)**

ESTUDIANTE: Nury Daniela Martínez Magaña

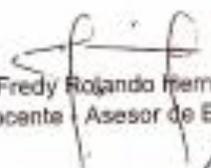
CARNÉ: 201400741

PERIODO DE REALIZACIÓN: Febrero a Noviembre de 2019

Institución donde realizó el EPS: Producción Palki, Salamá, Finca Palki, San Jerónimo, Baja Verapaz.

- | | |
|--|--------|
| 1. Fase de Inducción y Planificación..... | 88/100 |
| 2. Fase de Ejecución..... | 78/100 |
| 3. Fase Final de Elaboración y Evaluación del Informe Final..... | 84/100 |

NOTA DE PROMOCIÓN: APROBADO

Ing. Agr.  Fredy Rojando Hernández Ola
Docente / Asesor de EPS



Ing. Agr. MA.  Pedro Peláez Reyes
Coordinador Área Integrada - EPS



Guatemala, 09 de abril de 2021

cc. Control Académico, Estudiante, Archivo
PPR/azud



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Resistencia - Determinación - Innovación




 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA

Instituto Tecnológico


No. 45.2021

Trabajo de Graduación:	"EVALUACIÓN DE TRES CONCENTRACIONES DE UREA, COMO FUENTE DE NITRÓGENO PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES DE PLANTAS ORNAMENTALES, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA FINCA PALKI, SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA, C.A."
Estudiante:	Nury Daniela Martínez Magaña
Carné:	201400741

IMPRESA

 Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
 DECANO