



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE COMPOST A PARTIR
DE CO-COMPOSTAJE EN LODOS RESIDUALES PRODUCIDOS
EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
“LAS VIÑITAS” DEL CANTÓN AMBATO**

Trabajo de Titulación

Modalidad: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: ABIGAIL FERNANDA CEVALLOS GUAMÁN

CRISTOFFER RONALDO SANCHEZ BONILLA

DIRECTOR: Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN, PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Abigail Fernanda Cevallos Guamán & Cristoffer Ronaldo Sánchez Bonilla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Abigail Fernanda Cevallos Guamán y Cristoffer Ronaldo Sánchez Bonilla, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados de este documento son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de diciembre de 2022



Abigail Fernanda Cevallos Guamán
C.I. 180501978-1



Cristoffer Ronaldo Sánchez Bonilla
C.I. 180417332-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE COMPOST A PARTIR DE CO-COMPOSTAJE EN LODOS RESIDUALES PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “LAS VIÑITAS” DEL CANTÓN AMBATO**, realizado por el señores: **ABIGAIL FERNANDA CEVALLOS GUAMÁN Y CRISTOFFER RONALDO SÁNCHEZ BONILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 -----	2022-12-06
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 -----	2022-12-06
Dr. Julio César Idrovo Novillo, PhD. MIEMBRO DE TRIBUNAL	 -----	2022-12-06

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dirigido a Dios por siempre guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado y por darme una excelente familia. A mis padres que son mi razón de vida, Susana y Salomón pues sin su apoyo incondicional no lo habría logrado, por su esfuerzo diario para sacarme adelante, por su paciencia y amor infinito. Para mis ángeles en el cielo, mi abuelita Laurita María, que siempre tuvo el sueño de verme graduada y para mi Ramón Morales que siempre será mi arrullo de estrellas. A mi compañero en las noches de desvelo que nunca me dejo sola, mi mascota Skar, a mi amigo de toda la vida universitaria Cristoffer, mi compañero de tesis, por todos los momentos compartidos, por las risas, ocurrencias y consejos. Por último, a mi familia y amigos que han sido incondicionales en esta etapa universitaria.

Abigail

Este trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios, por todas las bendiciones recibidas durante mi vida. A mi padre Hítalo quien ha sido mi fortaleza, por esforzarse cada día por mi bienestar, por su confianza, por enseñarme a ser fuerte en las adversidades y nunca hacerme faltar su amor. Para mi madre Paulina por no hacerme faltar su apoyo a pesar de la distancia durante estos años. A mis tías Ximena y Mónica por haber cuidado siempre de mí, por quererme como a un hijo y estar al pendiente de mis estudios. Para mis abuelitos, que han enrumado mi vida, supieron como levantarme en los momentos difíciles, por brindarme su amor en todo momento. A mi querida esposa Madelyn por llegar en el momento justo, por estar conmigo en el principio y fin de mi vida universitaria, por cuidarme, por guiarme por el camino correcto y enseñarme que el amor verdadero si existe. A mi mascota chispita por ser mi compañía incondicional lejos de casa. Para mi incondicional amiga Abigail por brindarme una amistad sincera durante todo este viaje que ha sido la universidad, por todos los momentos que hemos compartido y haberme brindado la confianza de hacer este trabajo de titulación juntos. Por último, a todas las personas que formaron parte de la carrera e hicieron cada día de ella un valioso recuerdo que lo llevare por siempre.

Cristoffer

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por siempre guiarnos por el camino del bien y permitirnos culminar con nuestra carrera universitaria, por llegar hasta este punto tan importante en nuestras vidas. A nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y palabras de aliento para no rendirnos. Nuestra gratitud con el Ing. Cristian Chuquin que ha sabido compartir sus conocimientos y nos ha guiado durante todo el proceso en la realización de los análisis de laboratorio, de igual forma un agradecimiento al Ing. Víctor Hugo Valverde, que nos acompañó desde el inicio de este proyecto. Un reconocimiento especial a la Dra. Irene Gavilanes y al Dr. Julio Idrovo, por brindarnos la oportunidad de trabajar con GAIBAQ, excelentes seres humanos y catedráticos que nos impartieron sus conocimientos y valores dentro de nuestra querida ESPOCH.

Abigail & Cristoffer

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	1
1.1. Residuo.....	1
1.2. Clasificación de los residuos.....	1
1.2.1. <i>Por su composición</i>.....	1
1.2.2. <i>Por su utilidad</i>.....	1
1.2.3. <i>Por su origen</i>.....	2
1.2.4. <i>Por su peligrosidad</i>.....	2
1.3. Residuos de poda.....	3
1.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR.....	4
1.5. Agua Residual.....	4
1.5.1. <i>Características del agua residual</i>.....	5
1.5.1.1. <i>Características Físicas</i>.....	5
1.5.1.2. <i>Características Químicas</i>.....	5
1.5.1.3. <i>Características Biológicas</i>.....	5
1.6. Tipos de Aguas Residuales.....	6
1.6.1. <i>Aguas residuales Domésticas</i>.....	6
1.6.1.1. <i>Aguas residuales negras</i>.....	6
1.6.1.2. <i>Aguas residuales grises</i>.....	6
1.6.2. <i>Aguas Residuales Industriales</i>.....	6
1.6.3. <i>Aguas Residuales Pluviales</i>.....	6
1.6.4. <i>Aguas Residuales Ganaderas</i>.....	6
1.7. Tratamiento de Aguas Residuales.....	7
1.7.1. <i>Subproductos en el tratamiento de aguas residuales</i>.....	7

1.7.1.1.	<i>Lodo residual</i>	7
1.7.1.2.	<i>Características del lodo residual</i>	7
1.7.1.3.	<i>Composición del lodo residual</i>	8
1.7.1.4.	<i>Tipos de lodos residuales</i>	8
1.7.1.5.	<i>Clasificación de lodos residuales</i>	9
1.7.1.6.	<i>Caracterización de lodos residuales</i>	9
1.7.1.7.	<i>Estabilización de lodos</i>	9
1.7.1.8.	<i>Mecanismos para la estabilización de lodos</i>	9
1.8.	Compostaje	10
1.8.1.	<i>Sistemas de Compostaje</i>	10
1.8.1.1.	<i>Sistemas Abiertos</i>	11
1.8.1.2.	<i>Sistemas Cerrados</i>	11
1.8.2.	<i>Etapas del proceso de compostaje</i>	11
1.8.3.	<i>Microrganismos presentes en el proceso de compostaje</i>	13
1.8.3.1.	<i>Bacterias</i>	13
1.8.3.2.	<i>Hongos</i>	14
1.8.3.3.	<i>Actinomicetos</i>	14
1.8.4.	<i>Parámetros de control durante proceso de compostaje</i>	14
1.8.4.1.	<i>Temperatura</i>	14
1.8.4.2.	<i>Humedad</i>	14
1.8.4.3.	<i>Potencial de hidrógeno pH</i>	15
1.8.4.4.	<i>Aireación</i>	15
1.8.4.5.	<i>Relación C/N</i>	15
1.8.4.6.	<i>Nutrientes</i>	15
1.8.4.7.	<i>Materia Orgánica</i>	16
1.8.4.8.	<i>Conductividad Eléctrica CE</i>	16
1.9.	Compost	16
1.9.1.	Tipos de Compost	16
1.9.1.1.	<i>Compost Clase A</i>	16
1.9.1.2.	<i>Compost Clase B</i>	16
1.9.2.	<i>Calidad del compost</i>	17
1.10.	Beneficios del uso de compost en la calidad del suelo	17
1.11.	Base Legal	17
1.11.1.	<i>Reglamento del Código Orgánico del Ambiente</i>	17
1.11.2.	<i>Normativa Europea para el proceso de compostaje</i>	19
1.11.3.	<i>Legislación para residuos orgánicos</i>	20

1.11.4.	<i>Legislación para la utilización de fertilizantes orgánicos en el área agrícola</i>	20
1.11.5.	<i>Legislación para el uso del compost en actividades agrícolas</i>	21
1.11.6.	<i>Norma Técnica Ecuatoriana INEN 211:98</i>	21
1.11.7.	<i>Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola</i>	22
1.11.8.	<i>Normativa Europea</i>	23

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1.	Zona de estudio	24
2.2.	Diseño experimental	24
2.2.1.	<i>Tipo y diseño de la investigación</i>	24
2.2.2.	<i>Unidad de análisis</i>	24
2.2.3.	<i>Población de estudio</i>	24
2.2.4.	<i>Tamaño de muestra</i>	24
2.2.5.	<i>Selección de la muestra</i>	25
2.2.6.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	25
2.2.7.	<i>Diseño experimental</i>	25
2.2.7.1.	<i>Variable dependiente</i>	25
2.2.7.2.	<i>Variable independiente</i>	25
2.2.7.3.	<i>Hipótesis</i>	26
2.2.8.	<i>Materiales y equipos para la elaboración y control de las pilas de compostaje</i>	26
2.2.8.1.	<i>Materia prima para el compost</i>	26
2.2.8.2.	<i>Equipos de control de las pilas de compost</i>	26
2.2.8.3.	<i>Materiales para la implantación del entechado</i>	26
2.2.8.4.	<i>Sustancias</i>	27
2.3.	Técnicas	27
2.3.1.	<i>Toma de muestras para la caracterización inicial</i>	27
2.3.2.	<i>Ensamblaje de las pilas de co-compostaje</i>	28
2.3.2.1.	<i>Riego de las pilas de compostaje</i>	30
2.3.2.2.	<i>Control in-situ de la temperatura y humedad de las pilas como también la temperatura y humedad ambiental</i>	31
2.3.2.3.	<i>Volteo de las pilas de compostaje</i>	32
2.3.2.4.	<i>Cambio a etapa de maduración</i>	33
2.3.2.5.	<i>Compost maduro proceso finalizado</i>	34

2.3.3.	<i>Análisis químicos, físico-químicos y biológicos del proceso de compostaje</i>	34
2.3.3.1.	<i>Humedad</i>	34
2.3.3.2.	<i>Molienda y preparación de muestras</i>	35
2.3.3.3.	<i>pH</i>	37
2.3.3.4.	<i>Conductividad eléctrica</i>	38
2.3.3.5.	<i>Carbono y Nitrógeno</i>	39
2.3.3.6.	<i>Materia orgánica</i>	40
2.3.3.7.	<i>Índice de germinación</i>	42
2.3.3.8.	<i>Polifenoles</i>	44

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSION	66
3.1.	Caracterización inicial de los materiales	66
3.1.1.	<i>Caracterización físico-química inicial de los materiales</i>	66
3.2.	Análisis de los parámetros del proceso de compostaje	66
3.2.1.	<i>Resultados de los parámetros del proceso de compostaje</i>	66
3.2.1.1.	<i>Materia Orgánica</i>	69
3.2.1.2.	<i>Ph</i>	69
3.2.1.3.	<i>Conductividad Eléctrica CE</i>	69
3.2.1.4.	<i>Índice de Germinación</i>	70
3.3.	Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje	70
3.4.	Evolución de la pérdida de materia orgánica en el proceso de compostaje	71
3.5.	Resultado de los análisis de compost	72
3.5.1.	<i>Arsénico</i>	73
3.5.2.	<i>Selenio</i>	73
3.5.3.	<i>Mercurio</i>	73
3.5.4.	<i>Plomo</i>	74
3.5.5.	<i>Cadmio</i>	74
3.5.6.	<i>Sodio</i>	74
3.5.7.	<i>Cobre</i>	75
3.5.8.	<i>Hierro</i>	75
3.5.9.	<i>Nitrógeno Total</i>	75
3.5.10.	<i>Fósforo</i>	76
3.5.11.	<i>Potasio</i>	76
3.6.	Resultados de los análisis de cloruros del compost	77

3.7.	Resultados de los análisis de aniones del compost	77
3.7.1.	<i>Nitratos</i>	78
3.7.2.	<i>Fosfatos</i>	78
3.7.3.	<i>Sulfuros</i>	78
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación de los residuos	3
Tabla 2-1: Norma Técnica Ecuatoriana	21
Tabla 3-1: Norma Técnica Ecuatoriana	21
Tabla 4-1: Manual Técnico de F.ES. PAUA.....	22
Tabla 5-1: Manual Técnico de F.ES. PAUA.....	22
Tabla 6-1: Normativa Europea.....	23
Tabla 1-2: Kilogramos de residuos utilizados en la P1 de compostaje	28
Tabla 2-2: Kilogramos de residuos utilizados en la P2 de compostaje	28
Tabla 3-2: Concentraciones para la preparación de estándares para polifenoles	45
Tabla 4-2: Concentraciones para el análisis de Arsénico.....	50
Tabla 5-2: Concentraciones para el análisis de Cadmio	52
Tabla 6-2: Concentraciones para el análisis de Mercurio	53
Tabla 7-2: Concentraciones para el análisis de Plomo.....	54
Tabla 8-2: Concentraciones para el análisis de Arsénico.....	56
Tabla 1-3: Caracterización fisicoquímica inicial de los materiales.....	66
Tabla 2-3: Caracterización físico química durante el proceso de compostaje	67
Tabla 3-3: Parámetros para determinar la pérdida de materia orgánica.....	72
Tabla 4-3: Resultados de los análisis del compost.....	72
Tabla 5-3: Concentración de cloruros en compost iniciales y finales.....	77
Tabla 6-3: Concentración de aniones en compost iniciales y finales.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1.	Etapas del proceso de compostaje.....	13
Ilustración 1-2.	Silo de almacenamiento de lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas”	27
Ilustración 2-2.	Recolección de lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas”	28
Ilustración 3-2.	Dimensiones planteadas para la elaboración de las pilas	29
Ilustración 4-2.	Lodos residuales de la PTAR	30
Ilustración 5-2.	Pilas de compostaje por capas	30
Ilustración 6-2.	Pilas de compostaje	30
Ilustración 7-2.	Riego de las pilas de compostaje.....	31
Ilustración 8-2.	Control de humedad y temperatura de las pilas de compostaje.....	32
Ilustración 9-2.	Control de datos de humedad y temperatura ambiental	32
Ilustración 10-2.	Proceso de volteo de la pila de compostaje.....	33
Ilustración 11-2.	Pilas en proceso de maduración	34
Ilustración 13-2.	Molienda manual de las muestras obtenidas	36
Ilustración 14-2.	Almacenamiento y rotulado de las muestras	36
Ilustración 15-2.	Medición de pH con el Multiparámetro	38
Ilustración 16-2.	Medición de conductividad eléctrica con el multiparámetro	39
Ilustración 17-2.	Pesaje de la muestra para la medición de carbono y nitrógeno	40
Ilustración 18-2.	Pesaje de los crisoles con la materia calcinada	41
Ilustración 19-2.	Colocación del extracto sobre las semillas de berro.....	43
Ilustración 20-2.	Semillas de berro germinadas en las cajas Petri.....	43
Ilustración 21-2.	Estándares de calibración para el espectrofotómetro UV-VIS.....	46
Ilustración 22-2.	Medición de polifenoles en el espectrofotómetro UV-VIS.....	46
Ilustración 23-2.	Proceso de digestión de muestras para análisis de metales	49
Ilustración 24-2.	Determinación de metales en el espectrofotómetro de llama.....	57
Ilustración 25-2.	Observación de los resultados proporcionados por el espectrofotómetro de llama.....	57
Ilustración 26-2.	Proceso de Titulación de muestras para análisis de cloruros	59
Ilustración 27-2.	Muestras tituladas de color ladrillo para análisis de cloruros.....	59
Ilustración 1-3:	Evolución de la temperatura en la P1 LR (1000kg) + RP (600kg) + SERR (400kg) y P2 (1300kg) + RP (300kg) + SERR (400kg).....	70
Ilustración 2-3:	Degradación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje	71

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VISITA TECNICA A LAS INSTALACIONES DE LA PTAR “LAS VIÑITAS”,
AMBATO
- ANEXO B:** FABRICACION DE LA ESTRCUTURA Y ARMAJE DE LAS PILAS DONDE
SE DE COMPOSTAJE
- ANEXO C:** VOLTEOS Y CUIDADOS DE LAS PILAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AgNO₃	Nitrato de plata
Art.	Artículo
Atm.	Atmósfera
°C	Grado Celsius
C	Carbono
C₆H₈O₆	Ácido Ascórbico
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
CH₃CH₂OH	Etanol
CH₃COONH₄	Acetato de Amonio
CH₄	Metano
cm	Centímetro
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
COA	Código Orgánico Ambiental
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
dS	Decisiemens
E. coli	Escherichia coli
EPA	United States Environmental Protection Agency
Fe	Hierro
g	Gramo
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GEI	Gases de Efecto Invernadero
H₂	Hidrógeno
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico
HCl	Ácido Clorhídrico
Hg	Mercurio
HNO₃	Ácido Nítrico
IG	Índice de germinación
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización

K	Potasio
K₂CrO₄	Cromato de potasio
Kg	Kilogramo
KI	Yoduro de Potasio
L	Litro
LR	Lodo Residual
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m	Metro
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
Mg	Magnesio
mg	Miligramo
ml	Mililitro
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
MP	Metales pesados
N	Nitrógeno
Na	Sodio
Na₂SO₄	Sulfato de Sodio
NaBH₄	Borohidruro de Sodio
NaCl	Cloruro de Sodio
NaOH	Hidróxido de Sodio
NH₃	Amoniaco
nm	Nanómetro
NO₂	Dióxido de Nitrógeno
NO_x	Óxidos de Nitrógeno
NTE INEN	Norma Técnica Ecuatoriana Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Normativa técnica ecuatoriana
O₂	Oxígeno
P	Fósforo
P1	Pila uno
P2	Pila dos
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrógeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
R²	Coefficiente de determinación
RP	Residuo de Poda

Se	Selenio
STD's	Solidos Totales Disueltos
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
μS	Microsiemens
WTE	Conversión de residuos en energía
Zn	Zinc

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo principal dar tratamiento y reutilizar el lodo residual producido en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “Las Viñitas” que forma parte de las instalaciones de EP-EMAPA-A del cantón Ambato, según los datos proporcionados por la empresa, sufre una problemática ya que diariamente se producen aproximadamente 45 ton/día, estos una vez que llegan al silo de almacenamiento deben ser distribuidos, por lo cual son entregados directamente para la producción agrícola sin darles ningún tratamiento previo. Para ello se llevó a cabo con la elaboración de pilas de compostaje y realizando la valoración al compost obtenido al final del proceso. Fueron construidas dos unidades experimentales las cuales poseen las siguientes proporciones de residuos, para la P1: LR (1000 kg) + RP (600 kg) + ASERR (400kg), en el caso de la P2: LR (1300 kg) + RP (300 kg) + ASERR (400kg). Se realizó un control diario de parámetros in situ, verificando siempre la temperatura y humedad de las unidades experimentales como también la temperatura y humedad ambiental. Se ejecutó una evaluación inicial, durante y final del proceso de compostaje de los diferentes parámetros como materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), relación Carbono-Nitrógeno (C/N), polifenoles, metales pesados, aniones, macro y micronutrientes e índice de germinación (%IG). La relación C/N fue menor a 20 en las dos unidades experimentales, el IG llegó a ser mayor del 90% en el compost final, siendo apto para el crecimiento de plantas y en cuanto a los polifenoles descendieron gradualmente. Por lo expuesto anteriormente los resultados de las unidades experimentales dieron un compost considerado de clase A, de acuerdo con la Normativa Europea, es decir, aptos para el uso en la agricultura. Se recomienda utilizar otras variables en estudios posteriores par mejorar los resultados obtenidos.

Palabras clave: <LODOS RESIDUALES>, <PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)>, <RESIDUOS ORGÁNICOS>, <PILAS WINDROW>, <CO-COMPOSTAJE>, <COMPOST MADURO>, <MICROORGANISMOS>.



15-12-2022
2389-DBRA-UPT-2022

SUMMARY

The main objective of the investigation was to treat and reuse the residual sludge produced in the "Las Viñitas" Wastewater Treatment Plant (PTAR), which is part of the EP-EMAPA-A facilities in Ambato, according to data provided by the company suffers from a problem since approximately 45 tons/day are produced daily. Once they reach the storage silo, these must be distributed, which is why they are delivered directly for agricultural production without giving them any prior treatment. This study was carried out by elaborating on composting piles and evaluating the compost obtained at the end of the process. Two experimental units were built, which have the following proportions of residues for P1: LR (1000 kg) + RP (600 kg) + ASERR (400kg), in the case of P2: LR (1300 kg) + RP (300 kg) + SAERR (400kg). Daily control of parameters was carried out in situ, constantly verifying the temperature and humidity of the experimental units as well as the ambient temperature and humidity. An initial, during and final evaluation of the composting process of the different parameters such as organic matter (OM), pH, electrical conductivity (EC), Carbon-Nitrogen ratio (C/N), polyphenols, heavy metals, anions, macro and micronutrients and germination index (%GI). The C/N ratio was less than 20 in the two experimental units, and the GI became more significant than 90% in the final compost, suitable for plant growth and gradually decreasing in terms of polyphenols. Due to the above, the results of the experimental units gave a compost considered class A by the European Regulations, that is, suitable for use in agriculture. Using other variables in studies is recommended later to improve the results obtained.

Keywords: <WASTE SLUDGE>, >WASTEWATER TREATMENT PLAN (PTAR)>, <ORGANIC WASTE>, <WINDROW PILES>, <CO-COMPOSTING>, <RIMED COMPOST>, <MICROORGANISMS>.



Ing. Angel Paul Obregón Mayorga, Mgs.

C.I. 0601927122

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

En la actualidad el motivo principal de tratar las aguas residuales según (Nasamues, 2021, p.16) es cuidar la salud pública y el medio ambiente, si las aguas residuales no son tratadas y se vierten directamente a ríos, lagos o mares, es bastante probable introducir elementos de contaminación que acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno ambiental y afectaciones a la salud de un determinado sector.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR “Las Viñitas”, es una obra sanitaria que está dirigida a dar servicio a la ciudad de Ambato, misma que se encarga de dar tratamiento a las aguas servidas que provienen de los domicilios, comercios e industrias. El tratamiento de las aguas residuales como alternativa de solución para disminuir la contaminación de las fuentes receptoras, ha traído consigo impactos positivos para la recuperación de las mismas, sin embargo, su tratamiento independiente de la tecnología empleada genera subproductos como lodos residuales los cuales, si no son tratados o aprovechados, pueden convertirse en otra fuente de contaminación ambiental, el manejo de estos residuos es uno de los mayores desafíos técnicos y operacionales del sistema.

La generación de lodos residuales en PTAR “Las Viñitas” según los datos proporcionados por EMAPA, conlleva una problemática ya que diariamente se producen aproximadamente 45 ton/día, estos una vez que llegan al silo de almacenamiento deben ser distribuidos, siendo entregados a diferentes parroquias del cantón Ambato, donde en muchos casos se utilizan directamente en la producción agrícola sin darles ningún tratamiento previo.

Para solucionar este problema se ha planteado utilizar este residuo como materia prima para elaborar abono orgánico mediante el proceso de co-compostaje, lo que permite la reutilización y aprovechamiento de los lodos residuales que se producen en la Planta de Tratamiento de la ciudad de Ambato, así como una adecuada disposición final, esta técnica biotecnológica podría ser la respuesta a los inconvenientes ambientales y de almacenamiento que producen estos residuos.

Antecedentes de la Investigación

En la PTAR las Viñitas a diario se producen 45 toneladas de lodos residuales que no cuentan con un ente regulador para una adecuada disposición final de este residuo, obligando a la Empresa Municipal EMAPA-A a enviar estos residuos al relleno sanitario de la ciudad, lo cual se convierte en un proceso poco eficaz en la gestión de los desechos finales, generando ciertas molestias en las personas que transitan a diario por vía principal que une Ambato-Píllaro.

Por ende, el compostaje es una técnica biotecnológica en presencia de oxígeno, que requiere condiciones de ventilación, humedad y temperaturas controladas, que permiten transformar los residuos, como en este caso los lodos residuales en un material estable conocido como compost que puede ser utilizado como abono orgánico, significando un aporte a la producción agrícola limpia, ya que permite el aprovechamiento de residuos orgánicos, ayuda a mejorar el suelo, dándole fuerza, resistencia, estructura y aireación, para que las raíces puedan respirar y principalmente reduce el uso de fertilizantes químicos en los cultivos, evitando consigo daños como la infertilidad de los suelos, suelos ácidos, proliferación excesiva de microorganismos y contaminación de las aguas subterráneas.

Justificación

En la actualidad en el Ecuador se está dando la implementación de diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales, lo cual debió haber sido implementado en el país desde hace muchos años atrás, ya que las aguas residuales son un gran problema ambiental sino son tratadas correctamente. En nuestro país dentro de su Constitución tiene y reconoce los derechos de la naturaleza al mismo nivel jerárquico que los derechos humanos y su principal objetivo es el aprovechamiento sostenible de los recursos para restaurar la huella ecológica, la falta de conocimiento, así como la falta de conciencia en los ecuatorianos, hace que en la mayoría de los casos no se dé un correcto manejo y disposición final de residuos causando un problema en los rellenos sanitarios de basura del país.

Después de un proceso de estabilización, los lodos residuales adquieren características que pueden ser susceptibles de aprovechamiento, siendo un material de alto potencial biológico por la gran cantidad de nutrientes que contiene como nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros, colocándolo como uno de los abonos y fertilizantes más eficientes. Su aplicación después de un proceso de compostaje puede contribuir a la fertilización de cultivos, mejora en la retención de humedad y estructura del suelo, convirtiéndose en un producto útil para recuperar suelo degradados o erosionados.

Este proyecto tiene como objetivo proponer una opción de tratamiento viable y sostenible para la gran cantidad de residuos que se genera en la PTAR “Las Viñitas” y de esta forma evitar que terminen los mismos sin ningún tratamiento en un relleno sanitario, aplicando la técnica de compostaje se puede obtener al final de su proceso un abono orgánico con excelente características químicas, físicas y biológicas, el mismo que puede ser aplicado antes o durante las actividades agrícolas.

El diseño involucra la elaboración de 2 pilas de compostaje a través del sistema windrow en diferentes proporciones teniendo como componente principal el lodo. Se realizó la caracterización

inicial de los residuos a través de las propiedades físico-químicas, químicas y biológicas, así como de las muestras obtenidas en el proceso de compostaje y compost final.

En los análisis se involucraron la determinación de: pH, CE, % materia orgánica, relación C/N, aniones, polifenoles, macro y micronutrientes, concentración de metales pesados e índice de germinación (IG), (con un total de 30 análisis por muestra), por protocolo todos los análisis se realizaron por triplicado.

La investigación busca beneficiar tanto a la PTAR “Las Viñitas” al dar una gestión correcta de los lodos producidos en la misma, como también a los agricultores del cantón Ambato al proporcionarles un abono orgánico de calidad, el cual posee excelentes propiedades y puede beneficiarles en sus cultivos obteniendo mejores producciones a costos más accesibles.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Determinar la calidad de compost a partir del co-compostaje de lodos residuales con residuos vegetales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Las Viñitas” del Cantón Ambato.

Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización inicial tanto de los lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas” como de los residuos de poda y aserrín como línea base para el proceso de compostaje.
- Elaboración de las pilas de compostaje y realizar el control del proceso mediante la medición de parámetros químicos, fisicoquímicos y biológicos.
- Evaluar la calidad del compost maduro mediante el análisis de sus propiedades químicas, fisicoquímicas y biológicas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Residuo

Los residuos se han convertido en uno de los problemas ambientales más grandes en la sociedad y a nivel global, hasta la actualidad la gestión de residuos consiste en enviarlos a rellenos sanitarios o incinerarlos lo que genera efectos perjudiciales en la salud humana, contaminación del suelo, agua y aire, impacto paisajístico, pérdida de la calidad ambiental entre otros. Una de las alternativas para tratar esta problemática parte del reciclaje y clasificación de los residuos desde su origen para así darles una disposición final adecuada (Zulia et al., 2006, p.123).

Los residuos son aquellos resultantes de las diversas actividades del hombre que se han generado desde el inicio de la humanidad. Se considera un residuo a todo aquel material que ha perdido su valor y que el generador lo desecha, rechaza o entrega. Sin embargo, este puede ser aprovechado y transformado en un nuevo bien que puede tener un valor económico y a su vez reducir el impacto ambiental. (Mejía & Ramos, 2019, p.20).

1.2. Clasificación de los residuos

Los residuos pueden clasificarse por su composición, utilidad, origen y peligrosidad

1.2.1. Por su composición

Orgánicos: Se los considera residuos degradables, estos pueden ser vegetales como animales, desechos de alimentos, jardinería y huesos, que con una debida disposición final pueden emplearse de abono (Mendoza y Vigíl, 2012, p.12).

Inorgánicos: No suelen ser biodegradables, provienen de la industria o son productos sintéticos como metales, vidrio, pilas, cartón, etc. (Mendoza y Vigíl, 2012.p.12).

1.2.2. Por su utilidad

Reciclables o recuperables: Abarca a cualquier residuo que se lo puede reintegrar al ciclo de consumo, que puede ser utilizado como materia prima, como ejemplo: cartón, papel, vidrio, plástico, etc. (Yauli Laura, 2011, p.14).

No recuperables: Comúnmente estos residuos no presentan una posibilidad de aprovechamiento, por lo cual, su ciclo de vida ha terminado. A su vez estos pueden ser nocivos como son los residuos hospitalarios e inertes como el material sobrante de construcción (Yauli Laura, 2011, p.15).

Transformables: Son aquellos residuos que pueden ser aprovechados mediante su transformación, principalmente son los residuos orgánicos, como de alimentos, residuos de poda, jardinería y del sector agrícola (Yauli Laura, 2011, p.15).

1.2.3. Por su origen

Industriales: Son aquellos residuos excedentes de procesos de fabricación, mantenimiento, limpieza, transformación o consumo que lo generan las industrias. Estos pueden ser materiales químicos o corrosivos, pinturas, baterías, aceites, plásticos contaminados, etc (Mendoza y Vigíl, 2012, p.22).

Hospitalarios: Aquellos residuos provenientes de hospitales, clínicas, laboratorios de análisis, clínicas dentales, centros ambulatorios, atención de enfermería, entre otros. El manejo de estos residuos debe ser minucioso ya que pueden causar riesgos a la salud humana si su disposición final no es la adecuada (Mendoza y Vigíl, 2012, p.22).

Domésticos: Son los que se generan en los hogares en la actividad diaria como envases, papel, cartón, vidrio, equipos electrónicos, pilas, desechos de alimentación, desechos sanitarios, entre otros. Muchos de estos residuos no pueden ser desechados sin una clasificación previa, ya que pueden causar contaminación del medio ambiente una vez que son enviados al relleno sanitario, principalmente se producen lixiviados que contaminan las fuentes hídricas (Mendoza y Vigíl, 2012, p.22).

Comerciales: Generados en las diferentes actividades de comercio, en la prestación de servicios, restaurantes, bares, oficinas, mercados, lo cual aporta a un incremento en el porcentaje de la generación de residuos sólidos totales (Mendoza y Vigíl, 2012, p.22)

1.2.4. Por su peligrosidad

Peligrosos: Son residuos que no se consideran riesgosos para la salud humana o para el medio ambiente.

No peligrosos: Son aquellos que pueden presentar alguna de las características como: infecciosos, explosivos, inflamables, reactivos, corrosivos, radioactivos, volátiles y tóxicos, que al no tener un manejo de forma apropiada resultan ser perjudiciales ya que pueden causar enfermedades o incluso la muerte de los seres humanos y daños a la naturaleza (Yauli Laura, 2011, p.20).

Tabla 1-1: Clasificación de los residuos

TIPO	CLASIFICACION	EJEMPO	MANEJO
NO PELIGROSOS	Aprovechables	Papeles: archivo, Kraft, cartulina, periódico. Cartón Vidrio Plástico: envases, bolsas, vasos, PET. Metales Tetra pack	Reciclaje Reutilización
	No Aprovechables	Papel tissue: higiénico, servilletas, toallas de baño, pañales. Papel encerado y metalizado Cerámicas Material de barrido Colillas de cigarrillo	Disposición final
	Orgánicos Biodegradables	Residuos de comida Material vegetal	Compostaje Lombricultivo
PELIGROSOS		RAEE Pilas y baterías Químicos Medicamentos Aceites usados Biológicos	Tratamiento Incineración
ESPECIALES		Escombros Lantas Colchones Muebles Estantes Lodos	Servicio especial de recolección

Fuente: (Zulia et al., 2006, p.123).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

1.3. Residuos de poda

Son residuos provenientes de las tareas de poda y mantenimiento de los jardines como pasto, hojas, ramas flores, etc. Una característica particular de estos residuos es que se generan en gran

volumen, pero con un peso no significativo, estos provienen de grandes zonas verdes y que con el pasar del tiempo se han convertido en un verdadero problema ya que su disposición final es en el relleno sanitario o basureros lo que genera lixiviados y gases cuando la alternativa de aprovechamiento sería en compostaje (Arrigo et al., 2005, p.88).

1.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR

Son instalaciones diseñadas, construidas y operadas con la finalidad de dar tratamiento a las aguas residuales provenientes de las diversas actividades del hombre. Su función es reducir la carga contaminante como grasas, arenas, sólidos sedimentables, aceites mediante tratamientos y procesos para finalmente devolver estas aguas al cauce receptor sin que genere contaminación cumpliendo con los límites permisibles (Cerezo Castro, 2011, p.14).



Ilustración 1-1. PTAR "Las Viñitas", cantón Ambato

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

1.5. Agua Residual

Son aguas que contienen una elevada cantidad de elementos contaminantes, provenientes de las diversas actividades del hombre, uso doméstico, comercial, industrial y aguas pluviales. (Luis y Viteri, 2012, p.16-18).

En los últimos años la sociedad ha puesto a la vista la preocupación y buscando una solución acerca de la disposición de los efluentes líquidos que provienen de usos domésticos, comerciales e industriales de las aguas de abastecimiento. Las aguas residuales son descargadas de forma directa en ríos, lagos, mares, llegan al subsuelo por medio de rellenos sanitarios y pozos sépticos, lo cual genera graves inconvenientes en la salud humana y medio ambiente. Las mismas antes de ser vertidas en fuentes receptoras deben recibir un tratamiento previo lo cual permita modificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas evitando problemas posteriores (Acuña, 2018, p.32).

1.5.1. Características del agua residual

Las características de las aguas residuales dependen de sus propiedades ya sean físicas, químicas y biológicas, como se describe a continuación:

1.5.1.1. Características Físicas

Olor: Se da por la descomposición anaerobia de la materia orgánica, generando sustancias como mercaptanos, sustancias volátiles y ácido sulfúrico. Con el incremento del tiempo, el olor aumenta debido al desprendimiento del gas sulfhídrico. Las aguas residuales frescas no generan malos olores.

Color: Según menciona (Berrones, 2013, pp.1-7) las aguas recientes presentan un color beige claro, el cual va cambiando mientras transcurre el tiempo, llegando a un color negro debido a que las condiciones de anaerobiosis tienden a cambiar por la descomposición de la materia orgánica.

Temperatura: Se encuentra en un rango de 15° y 20° C lo cual ayuda al desarrollo de los microorganismos presentes en las aguas residuales.

1.5.1.2. Características Químicas

Carbohidratos: Se conoce que la celulosa es el hidrato de carbono con mayor presencia en el agua residual, los carbohidratos se presentan en un rango de 25 a 50% de la materia orgánica.

Aceites y Grasas: Son los principales causantes de los daños en cuanto a tuberías y en la red de alcantarillado de las plantas de tratamiento, si no son eliminados estos se convierten en material flotante en las aguas. Asimismo, se toma en cuenta el queroseno, aceites lubricantes y procedentes de material asfáltico procedente de la construcción de carreteras.

Componentes inorgánicos: Hace referencia a sólidos de origen mineral, como arcillas, lodos, arenas, carbonatos, sales minerales, etc. Que se encuentran presentes en las aguas residuales.

Proteínas: Principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales.

1.5.1.3. Características Biológicas

Incluyen organismos como bacterias, hongos, virus, nematodos, anélidos, larvas, mohos, etc. Presentes por su alta capacidad metabólica en la degradación de la materia orgánica e inorgánica (Cruz, 2013, p.10).

1.6. Tipos de Aguas Residuales

1.6.1. Aguas residuales Domésticas

Son aquellas que se producen del uso diario del agua en los hogares, provienen del consumo doméstico del hombre, actividades de limpieza, aseo personal, alimentación, las mismas son transportadas mediante tuberías o conductos a la red de alcantarillado público. Estas pueden ser de dos tipos:

1.6.1.1. Aguas residuales negras

Son aquellas que han sido intervenidas por el humano, transportando material fecal y orina, a su vez se las conoce también como aguas cloacales (Residuales et al., 2017 p.10).

1.6.1.2. Aguas residuales grises

Son aguas provenientes del uso doméstico, es decir de bañeras, duchas, lavamanos y presentan un bajo contenido de nitrógeno y fosforo (Residuales et al., 2017 p.10).

1.6.2. Aguas Residuales Industriales

Se producen de las actividades de las industrias, desechadas por las fábricas o medios de producción manufactureros, contienen principalmente metales pesados como plomo, cadmio, cobre, mercurio, entre otros. Además de la presencia de aditivos, disolventes y químicos artificiales (Residuales et al., 2017 p.11).

1.6.3. Aguas Residuales Pluviales

Son las aguas resultantes de la acumulación de las aguas lluvias en techos, terrenos, calles y diferentes superficies naturales.

1.6.4. Aguas Residuales Ganaderas

Proviene de la ganadería intensiva, estas aguas contienen químicos empleados para el crecimiento y engorde del ganado, presencia de purines y orina de animales, siendo contaminantes sumamente peligrosos por la toxicidad (Lemay, 2016, p.20).

1.7. Tratamiento de Aguas Residuales

La contaminación del agua se da por el agregado de sólidos, materia orgánica, material tóxico y organismos patógenos que afectan directamente a la calidad y pone en riesgo el equilibrio del medio ambiente ya que se encuentra alterada su composición y no es apta para sus fines o propósitos como lo sería en su estado natural. El tratamiento de aguas residuales es un conjunto de procesos físicos, químicos, fisicoquímico y biológicos, que tiene como finalidad la eliminación o a su vez la reducir o eliminar las características indeseables del agua. Este proceso varía de acuerdo con el uso final que tendrá dicha agua previamente tratada (Baque et al., 2020, p.19).

1.7.1. Subproductos en el tratamiento de aguas residuales

1.7.1.1. Lodo residual

El Ecuador no cuenta con una normativa de manejo y disposición final adecuada en cuanto a tema de lodos residuales, se considera un aspecto descuidado y son pocas las PTAR que cuentan con un sistema para la estabilización de estos, además no se cuenta con cifras exactas referentes a la cantidad de lodos producidos por las diferentes PTAR del país. Asimismo, su disposición final se da en rellenos sanitarios debido a temas económicos, desaprovechando su gran potencial como enmendadura en los suelos agrícolas.

Se los conoce también como lodos de desecho, son un subproducto que resulta del tratamiento de las aguas residuales. Siendo un material orgánico con un alto contenido de nutrientes, los mismos que cuando son tratados de una forma adecuada pueden reciclarse y obtener nueva materia prima (Pablo y Aleman, 2018, p.13).

1.7.1.2. Características del lodo residual

Según (Llivichuzca, 2016, p.16) las características de los lodos ya sean propias o adquiridas después del proceso de estabilización, le confieren la capacidad de ser aprovechado. Debido a la gran cantidad de nutrientes que los lodos residuales contienen. Además, menciona que las características de los lodos varían según la edad, origen y del proceso del que provengan.

1.7.1.3. Composición del lodo residual

Compuestos orgánicos e inorgánicos

Entre los componentes orgánicos tenemos proteínas, grasas y aceites, carbohidratos. Mientras tanto los cloruros, nitrógeno, fosforo, sales, azufre, arenas y metales pesados pertenecen a los componentes inorgánicos (Llivichuzca, 2016, p.23).

Contenido de patógenos

Por la naturaleza de los lodos residuales, tienen presente una elevada cantidad de microorganismos como bacterias, parásitos y virus. Por ello antes utilizar los lodos residuales se realiza una caracterización biológica inicial para identificar y cuantificar los microorganismos presentes (Llivichuzca, 2016, pp.23-28).

1.7.1.4. Tipos de lodos residuales

Lodos crudos: Son aquellos lodos que pueden ser extraídos de forma directa de los tanques de sedimentación de las plantas de tratamiento, no cuentan con un tratamiento o proceso de estabilización y se conocen como lodos sin digerir.

Lodos primarios: Son los provenientes del proceso de sedimentación primaria, en la cual se retiran sólidos sedimentables como arenas, sólidos orgánicos e inorgánicos. Los lodos primarios tienen un elevado contenido de material orgánico, su color va de marrón a gris y pueden generar mal olor con mucha facilidad.

Lodos secundarios: Procedentes del tratamiento biológico de la decantación secundaria de las aguas residuales. Las características de estos lodos varían por el metabolismo, presentar un color café oscuro y la materia orgánica se encuentra parcialmente estabilizada lo cual genera menos olores.

Lodos terciarios: Provenientes de los tratamientos físico-químicos o químicos de las aguas residuales, comúnmente se producen a partir de la adición de sales de hierro, aluminio o cal, que ayudan a la disminución de materia orgánica presente en el agua, también se eliminan compuestos inorgánicos. Su color va de café oscuro a negro, se generan en mayor cantidad los lodos por los productos químicos que han sido adicionados en el tratamiento de aguas (Montes Matos, 2019, p.10-15).

1.7.1.5. Clasificación de lodos residuales

Clase A: Son aquellos lodos que cumplen con los límites permisibles de niveles detectables de microorganismos patógenos, cumplen con los requerimientos establecidos por la legislación.

Clase B: Contienen niveles detectables de agentes patógenos, por lo cual tienen restricción para su uso público y aún deben recibir tratamientos de estabilización (Amador D., Veliz L. y Bataller V., 2015, p.12-22).

1.7.1.6. Caracterización de lodos residuales

La caracterización de lodos residuales es fundamental, pues permite la cuantificación de nutrientes para su posterior uso en los suelos, asimismo de los compuestos que pueden llegar a ser perjudiciales y por ende deben ser eliminados. Para ello se debe evaluar la composición química como es la presencia de metales pesados y el contenido de microorganismos patógenos (Lemay Remache, 2016, p.26).

1.7.1.7. Estabilización de lodos

La necesidad de estabilizar o darles un tratamiento a los lodos depende de su disposición o uso final, puesto que se los procesa para eliminar malos olores, reducir el contenido de microorganismos patógenos y para reducir el tiempo de putrefacción. Para un correcto tratamiento de estabilización de los lodos es necesario conocer sus características como volumen, calidad, costos de inversión y manejo, teniendo en cuenta que son diversos los tratamientos que existen para estabilizar los lodos, que como finalidad buscan la reducción del volumen de los lodos, transformándolos en un producto que pueda ser aprovechado y reutilizado sin riesgos para el medio ambiente o para la salud, que puede representar una ganancia económica como en el caso de ser vendido como enmendadura para suelos de cultivo o mediante la producción de energías limpias como el biogás por medio de digestión anaerobia de los lodos (Amador D., Veliz L. y Bataller V., 2015, p.22).

1.7.1.8. Mecanismos para la estabilización de lodos

Digestión anaerobia: Es un proceso comprendido por dos fases, en la primera se generan los ácidos volátiles y en la segunda fase las bacterias producen metano todo esto en ausencia de oxígeno, sin embargo, sus costos de construcción y operación son elevados, debido a que se emplean reactores de dos tipos: de baja carga y de alta carga, además que requieren gran cantidad de equipos periféricos. Para su funcionamiento se deben calentar los lodos, el agua resultada de

este proceso contiene elevadas cantidades de amoníaco y si no se tiene un control adecuado esto genera una desestabilización en el tratamiento (Amador D., Veliz L. y Bataller V., 2015, p.28).

Digestión aerobia: Tiene un bajo costo de construcción, sin embargo, su operación requiere una elevada inversión, puesto que se debe suministrar O₂ lo que permite el desarrollo de microorganismos aerobios que deben sobrepasar el lapso de síntesis de las células y realizar su propia auto-oxidación lo que reduce el material celular y da como resultado la estabilización de lodos. Se usa en plantas de tratamiento donde su capacidad es menor a 220 l/s (Amador D., Veliz L. y Bataller V., 2015, p.28).

Compostaje: Esta técnica de bajo costo que se utiliza principalmente con los residuos con la finalidad de obtener un material estabilizado y que tienen como disposición final el uso en la agricultura siendo empleados para mejorar la calidad de los suelos (Mejía y Ramos, 2019,p. 13-15).

Adición de cal: Este proceso presenta un bajo costo de inversión y su operación es sencilla, se añade cal con ello los lodos residuales se deshidratan y su pH se eleva, lo que genera que no desprendan malos olores, eliminar vectores de tipo infecciosos y eliminar totalmente la putrefacción de la materia, además que si existe presencia de metales pesados hace que estos formen compuestos estables evitando así la contaminación de los suelos. No obstante, presenta como desventaja que los lodos residuales pueden regresar a su estado inicial si el pH desciende después del proceso de estabilización, lo que genera el crecimiento de nuevos microorganismos (García, 2006, p. 67).

1.8. Compostaje

Es un proceso biológico que consiste en la descomposición de materia orgánica como residuos de poda o restos de alimentos acompañados de oxígeno, donde se crean las condiciones necesarias para transformar y estabilizar la materia, que ocurre mediante organismos descomponedores y obteniendo como resultado un abono con calidad (Mejía y Ramos, 2019,pp. 13-15).

1.8.1. Sistemas de Compostaje

Se pueden distinguir dos sistemas de compostaje para el tratamiento de los residuos; los sistemas abiertos que son las pilas al aire libre o en lugares parcialmente cerrados y los sistemas cerrados que se generan en ambientes donde es posible un mayor control de los parámetros (Tixe y Ruiz, 2018, p.14).

1.8.1.1. Sistemas Abiertos

Se pueden encontrar pilas móviles, que cuentan con un volteo manual o mecánico de los residuos a compostar lo cual permite la oxigenación de las pilas, el proceso evoluciona de forma más lenta. Al contrario, las pilas estáticas con ventilación forzada cuentan con sistemas de aireación ya sea mediante aire a presión o por succión de este.

Los sistemas abiertos son los más aprovechados por su sencillez y viabilidad económica, consiste en colocar los residuos en montones formando pilas al aire libre o bajo techada para proteger de factores meteorológicos (Docampo, 2013, p.15) .

1.8.1.2. Sistemas Cerrados

Estos sistemas permiten un mayor control de los parámetros del proceso de compostaje y de las emisiones, sus costos son elevados en cuanto a la construcción, mantenimiento y requerimientos energéticos ya que algunos implican el uso de reactores o digestores ya sean en sentido vertical u horizontal, aquí se lleva a cabo la primera fase del proceso y posteriormente para la etapa de maduración el material es trasladado al exterior.

En los sistemas estáticos no existe una mezcla de los residuos, en cambio en un sistema dinámico si ocurre ya que pueden contar con sistemas de mezclado interno. Estos sistemas cerrados cuentan con ventilación y sistemas de medición de temperatura, humedad, oxígeno, etc. (Docampo, 2013, p.15).

1.8.2. Etapas del proceso de compostaje

El proceso de compostaje consta de cuatro fases: mesófila, termófila, enfriamiento y finalmente maduración.

Fase Mesófila

En esta etapa ocurre la adaptación de los microorganismos al medio, lo cual les permite poner en marcha el proceso de putrefacción de los residuos y colonización de componentes. Los hongos y bacterias son los encargados de la descomposición de azúcares y aminoácidos.

En la fase mesófila la temperatura puede alcanzar los 45 °C aproximadamente, debido a la actividad microbiana ya que aprovechan las fuentes de carbono y nitrógeno lo que genera calor (Abellan y Palacios, 2015,pp.11-18).

Fase Termófila

Durante esta etapa la temperatura puede alcanzar valores superiores a los 45°C, aquí actúan bacterias termófilas que cuentan con la capacidad de degradar fuentes más complejas de carbono como la lignina y celulosa, también transforman el nitrógeno en amoníaco lo que eleva el pH del medio.

Debido al calor generado durante esta etapa se eliminan bacterias, contaminantes de origen fecal y con temperaturas superiores a los 55°C se erradican esporas de hongos fitopatógenos, semillas de maleza, huevos de helminto que se pudieron haber encontrado en el material inicial (Abellan y Palacios, 2015,pp.11-18).

Fase de Enfriamiento

La temperatura de la pila disminuye hasta los 40°C, las fuentes de carbono y nitrógeno disminuyen por lo cual la actividad de los microorganismos termófilos se ve reducida por la falta de nutrientes y energía. Se da una reaparición de los microorganismos mesófilos y reinician su actividad, hacen que el pH se reduzca levemente hasta quedar ligeramente alcalino (Abellan y Palacios, 2015,pp.11-18).

Fase de Maduración

En esta etapa final se una reducción significada de la actividad microbiana, por lo cual también descende la temperatura de la pila de compostaje. La temperatura de la pila deberá mantenerse en valores de las condiciones ambientales, siendo un indicio que garantice una correcta estabilización del material orgánico, dando como resultado un compost maduro listo para emplearse como enmienda de suelos.

Además, en esta etapa las pilas de compostaje tienden a tener un olor totalmente diferente a la inicial, el mismo es agradable al olfato del ser humano y se asemeja a tierra fresca de páramo (Abellan y Palacios, 2015,pp.11-18).

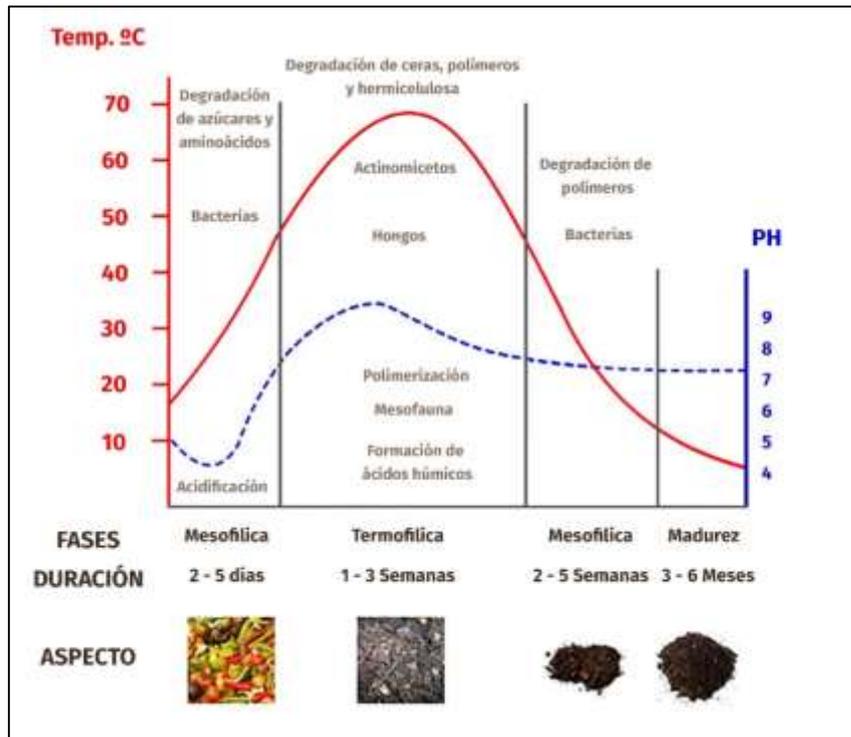


Ilustración 2-1. Etapas del proceso de compostaje

Fuente: (Abellan y Palacios, 2015,p.11-18)

1.8.3. *Microorganismos presentes en el proceso de compostaje*

Durante el proceso de compostaje se pueden encontrar algunos microorganismos de forma activa durante las etapas del compostaje. La presencia de estos va en función de las condiciones ambientales y nutrientes que puedan presentar los residuos que conforman la pila.

1.8.3.1. *Bacterias*

Aproximadamente del 80 al 90% las bacterias son los organismos con mayor presencia en el proceso de compostaje. En la etapa inicial de descomposición las bacterias aerobias mesófitas se multiplican rápidamente lo cual eleva la tempera de las pilas de compostaje.

Las bacterias mesófilas se conocen que consumen proteínas y carbohidratos siendo los recursos con mayor disponibilidad, en cambio las bacterias termófilas son aquellas que descomponen carbohidratos y proteínas no celulósicos, consumen lo que es hemicelulosa y lípidos, pero no celulosa y lignina (Tixe y Ruiz, 2018, pp.24-30).

1.8.3.2. Hongos

Su presencia suele ser menor que las bacterias, son los responsables de la degradación de polímeros vegetales complejos, bajos en nitrógeno, secos o ácidos y en lo posterior sean degradados por las bacterias para evitar fallas en el proceso de compostaje. Los hongos se encuentran en las capas exteriores de las pilas cuando las temperaturas son elevadas (Tixe y Ruiz, 2018, pp.24-30).

1.8.3.3. Actinomicetos

Su contribución en el proceso de compostaje es notoria por su gran capacidad enzimática para descomponer sustancias orgánicas complejas como la pectina, lignina y celulosa. Las especies que participan en este proceso suelen ser tolerantes a las elevadas temperaturas que se generan. Estos microorganismos son muy próximos a las bacterias y se caracterizan por dotar el olor de tierra mojada al compost maduro al final del proceso (Tixe y Ruiz, 2018, pp.24-30).

1.8.4. Parámetros de control durante proceso de compostaje

1.8.4.1. Temperatura

Se cree que la temperatura es un factor clave en el proceso de compostaje y también es un buen indicador de cómo avanza el proceso y del inicio de la actividad microbiana que provoca la degradación de la materia orgánica. Existe una correlación directa entre el deterioro de la materia orgánica y el tiempo.

Este parámetro permite tener en cuenta el grado de estabilidad del proceso en el que cada microorganismo tiene su rango de temperatura óptimo, durante el cual su actividad es mayor y más eficiente: para los organismos termófilos 45°C y los organismos mesófilos (temperaturas mayores a los 45°C) (Investigaciones, 2021, pp.22-25).

1.8.4.2. Humedad

Dado que el agua sirve de medio biológico en el que se descompone la materia orgánica, la humedad es un parámetro muy importante. Además, a través de la membrana celular, los microorganismos utilizan el agua como medio para transportar diversos nutrientes y elementos energéticos.

El rango ideal de humedad está entre el 50 y el 70%; por debajo del 30%, la actividad biológica se reduce, y por encima del 70%, el oxígeno es desplazado por el agua, creando un ambiente anaeróbico que emite malos olores (Tang, Zheng y Chen, 2017, pp.32-38).

1.8.4.3. Potencial de hidrógeno pH

La disponibilidad y la solubilidad de los nutrientes para los microorganismos están influidas por el pH. El pH puede variar entre 6 y 9, pero se debe tener en cuenta que las bacterias pueden tolerar niveles de pH entre 6 y 7, por lo cual su actividad puede verse limitada por los valores superiores o inferiores (Tang, Zheng y Chen, 2017, pp.32-38).

1.8.4.4. Aireación

La aireación permite el aporte de oxígeno en el proceso de compostaje, siendo de importancia para la aparición de microorganismos aerobios. Una baja aireación provoca el estancamiento del proceso de compostaje y la presencia de malos olores debido a la formación de gases nitrosos y sulfurosos. Por el contrario, una abundancia de oxígeno provocaría un descenso de la temperatura y una mayor pérdida de humedad por evaporación (Tang, Zheng y Chen, 2017, pp.32-38).

1.8.4.5. Relación C/N

El equilibrio ideal de nutrientes para el crecimiento de los microorganismos lo proporciona una buena relación C/N durante el proceso de compostaje. Se cree que existe un rango ideal de C/N con valores entre 25 y 35. El proceso de descomposición se intensifica significativamente y el exceso de carbono se convierte en dióxido de carbono cuando la relación tiene un valor superior a 35. En cambio, si la relación es inferior a 25, se producen importantes pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco (El, Farias y Castro, 2005, p.17).

1.8.4.6. Nutrientes

La presencia de micro y macronutrientes en los residuos garantiza un compost rico en nutrientes. Mientras que los micronutrientes desempeñan un papel crucial en la síntesis de enzimas, el metabolismo microbiano y los mecanismos de transporte celular interno y externo, los macronutrientes (N, P y K) son esenciales para el desarrollo de la microbiológico (El, Farias y Castro, 2005, p.17).

1.8.4.7. Materia Orgánica

La presencia de microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos en la materia orgánica es esencial para la evolución del proceso. A medida que el proceso avanza, la materia orgánica va descendiendo hasta llegar a la mineralización (Mendoza y Vigíl, 2012, p.38).

1.8.4.8. Conductividad Eléctrica CE

La conductividad eléctrica del compost está determinada por la incidencia de sales como los iones de amonio o nitratos que son parte del proceso de compostaje. Como la materia orgánica sufre un proceso de mineralización, la conductividad eléctrica puede aumentar durante el proceso. Sin embargo, la CE tiende a disminuir cuando la humedad de la pila es alta debido a la pérdida de vectores en el lixiviado (Mendoza y Vigíl, 2012, p.38).

1.9. Compost

El compost es un abono orgánico que se obtiene como resultado final del proceso de compostaje, cuando la materia orgánica se descompone de una forma correcta. Se convierte en un abono rico en nutrientes, muy similar a la tierra y que puede ser empleado para enriquecer y nutrir los suelos (Koigeburg, 2007, pp.13-15).

1.9.1. Tipos de Compost

1.9.1.1. Compost Clase A

Es aquel que cumple con las exigencias establecidas en la legislación, no tiene restricciones en cuanto a su uso y puede ser aplicado de forma directa en el suelo que desee enmendar. Su relación C/N debe ser igual o menor a 25.

1.9.1.2. Compost Clase B

Es un compost de nivel intermedio y para poder ser aplicado debe mezclarse con otros elementos. Su relación C/N debe ser igual o menor a 30.

1.9.2. Calidad del compost

Para que el compost pueda ser empleado en el sector agrícola es necesario que cumpla con algunos requisitos; la apariencia y olor deben ser admisible, cumplir con una correcta higienización, niveles bajos de contaminantes y elevados niveles en cuanto aportes nutricionales para los suelos (Koigeburg, 2007, pp.13-15).

1.10. Beneficios del uso de compost en la calidad del suelo

- Mejora las propiedades físicas mediante una fácil gestión en el proceso de siembra, eleva la capacidad de retención de la humedad, reduce notablemente el riesgo de erosiones ya que la temperatura se regula y reduce la evaporación del agua.
- Aporta en las propiedades químicas con micronutrientes y macronutrientes como N, P, K mejorando así la capacidad de intercambio catiónico en el suelo.
- La actividad biológica mejora debido al aporte de microorganismos como son bacterias y hongos que transforman el material insoluble y degradan material nocivo.

Representa un menor riesgo para los diferentes cultivos, ya que disminuye drásticamente el uso de fertilizantes químicos. Un compost de calidad ayuda al suelo a su fortalecimiento, contribuyen al incremento de materia orgánica mejorando su fertilidad, retención de agua, estructura, además que previene la erosión y degradación de los suelos agrícolas.

1.11. Base Legal

1.11.1. Reglamento del Código Orgánico del Ambiente

Art. 565.- Plan de gestión integral municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios. - Los gobiernos municipales y metropolitanos autónomos descentralizados deben elaborar y presentar el Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, el cual deberá ser sometido a aprobación, control y seguimiento por la Autoridad Nacional del Ambiente (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, p.1).

Art. 577.- Gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. El manejo global de residuos sólidos no peligrosos constituye el conjunto completo de acciones y medidas normativas,

operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de residuos sólidos no peligrosos, desde un punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, p.1).

Art. 583.- Generación. - La generación es el acto por el cual se genera una cantidad de residuos sólidos y no peligrosos, de una fuente determinada, en un tiempo definido, generalmente medido en unidades de masa. Los gobiernos autónomos descentralizados tomarán medidas para minimizar la producción de residuos sólidos y no peligrosos en su territorio. La Autoridad Nacional del Ambiente, los gobiernos autónomos descentralizados y otras instituciones crearán y aplicarán medidas y mecanismos legales, administrativos, técnicos, económicos y de planificación que tengan como objetivo minimizar la generación de residuos sólidos y no peligrosos (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

Art. 584.- Obligaciones de los generadores- Además de las obligaciones bajo las leyes y regulaciones aplicables, todos los productores de desechos no peligrosos y desechos sólidos deben:

a) Responsabilizarse de su tratamiento hasta que sean entregados al servicio de recogida o depositados en lugares autorizados que determine el prestador del servicio, en las condiciones técnicas que establezca la legislación aplicable.

b) Tomar medidas para minimizar su producción en origen, de acuerdo con lo establecido en las normas secundarias emitidas por la Autoridad Nacional del Ambiente (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

Art. 585.- Implementación de las fases. - Los lineamientos y criterios técnicos para la implementación de las fases de manejo integral de residuos sólidos y no peligrosos serán establecidos por la Autoridad Ambiental. Las normativas locales emitidas por las autoridades municipales autónomas descentralizadas y metropolitanas para el manejo integral de los desechos y residuos sólidos no peligrosos deben cumplir con los lineamientos y criterios técnicos definidos por la Autoridad Nacional del Ambiente (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos pueden suscribir convenios entre sí para garantizar la gestión integral de sus residuos sólidos no peligrosos y sus residuos en una de sus fases, o adoptar un modelo de gestión conjunta de acuerdo con la ley, de forma Minimizar los impactos ambientales y promover economías de escala (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

Art. 586.- Fases de la gestión integral. - Las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos son el conjunto de actividades técnicas y operativas de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos que incluye:

a) Separación en la fuente;

b) Almacenamiento temporal;

- c) Barrido y limpieza;
- d) Recolección;
- e) Transporte;
- f) Acopio y/o transferencia;
- g) Aprovechamiento;
- h) Tratamiento; y,
- i) Disposición final.

Los gobiernos municipales y metropolitanos autónomos descentralizados deben disponer obligatoriamente de los residuos sólidos no peligrosos en rellenos sanitarios u otra alternativa que cumpla con los requisitos técnicos y operativos aprobados para tal fin. La disposición final de los residuos sólidos no peligrosos se centrará únicamente en los residuos que no se pueden reutilizar, utilizar o reciclar durante las etapas anteriores de residuos o la gestión integral de residuos escala (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

Las autoridades autónomas municipales y metropolitanas descentralizadas deben cerrar los rellenos sanitarios existentes en el cantón, mediante proyectos de cierre técnico autorizados por la autoridad ambiental nacional. Se prohíbe la disposición final de residuos sólidos no peligrosos sin la correspondiente autorización administrativa ambiental. Asimismo, la disposición final en los espacios naturales que integran el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los predios estatales de aguas, aguas marinas, playas, vías públicas, exteriores, patios, terrenos, lotes, arroyos u otro lugar distinto a ese, está prohibido. Designado al efecto, de acuerdo con la norma secundaria emitida por la Autoridad Nacional del Ambiente escala (REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2019, pp.18-58).

1.11.2. Normativa Europea para el proceso de compostaje

Para ser aptos para el compostaje, los residuos orgánicos deben cumplir una serie de criterios estrictos de la norma europea EN 13432 sobre compostabilidad industrial. Pero, además, los usos del compuesto están regulados por el Real Decreto 999/2017 (Normativa Europea, 2018, p.15-20).

En cuanto a las normas sanitarias para el compostaje, las regulaciones de la UE no. 1774/2002 y 208/2006 establecen los estándares sanitarios que deben aplicarse para prevenir la propagación de patógenos durante el proceso de compostaje. Para hacer esto, debe tener en cuenta los siguientes problemas:

El compost se manipulará y almacenará en la planta de compostaje utilizando métodos que eviten la recontaminación. Todo el material del sistema debe cumplir con los parámetros de tiempo y temperatura necesarios para lograr un saneamiento adecuado (Normativa Europea, 2018, pp.15-20).

Los contenedores, vehículos y contenedores utilizados para el transporte de materiales sin tratar deben limpiarse en un área específica diseñada para tal fin, la cual debe estar diseñada para evitar el riesgo de contaminación de los productos procesados (Normativa Europea, 2018, pp.15-20).

Se proporcionarán agentes de limpieza y equipo necesario, así como inspecciones periódicas de máquinas y ambientes. Se documentan los programas de inspección y los resultados relacionados, así como todos los procedimientos de limpieza para todas las áreas de la instalación (Normativa Europea, 2018, pp.15-20).

Deben adoptarse sistemáticamente medidas preventivas contra roedores, pájaros, insectos y otros parásitos. Para ello, debe existir un plan de control de plagas bien documentado. El análisis de control de patógenos de los productos finales se realizará en un laboratorio acreditado y debidamente clasificado (Normativa Europea, 2018, pp.15-20).

Las instalaciones y el equipo deben mantenerse en buenas condiciones. Deberá disponerse de un diario que registre de forma ordenada los datos obtenidos sobre las fechas, temperatura y frecuencia de los disparos, que deberá dejarse a la autoridad competente para su verificación (Normativa Europea, 2018, pp.15-20).

1.11.3. Legislación para residuos orgánicos

El ministerio del ambiente y agua en su “MANUAL DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS MUNICIPALES” hace referencia a que existen dos tipos de residuos en relación con el compostaje los susceptibles y no susceptibles a compostar, los que se pueden utilizar en el proceso son:

- Residuos de pasto cortado
- Residuos de poda de árboles y arbustos
- Estiércoles sin tomar en cuenta las excretas de perro y gato
- Residuos vegetales identificados en los mercados
- Residuos de camales donde son de especial interés el rumial
- Residuos de comida tanto de restaurantes como los producidos en domicilios comunes
- Lodos obtenidos por el tratamiento de aguas residuales a los mismo que se les debe dar una previa caracterización (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020, p.32).

1.11.4. Legislación para la utilización de fertilizantes orgánicos en el área agrícola

Según el “MANUAL TÉCNICO PARA EL REGISTRO Y CONTROL DE FERTILIZANTES, ENMIENDAS DE SUELO Y PRODUCTOS AFINES DE USO AGRÍCOLA” en su edición No.5 aprobada el 21/02/2020 especifica que los fertilizantes de origen orgánicos deben cumplir con los requisitos establecidos en la tabla número 5 del mismo (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020, p.32).

1.11.5. Legislación para el uso del compost en actividades agrícolas

Según la Norma oficial NCh 2880 aprobada en Chile el 29 de abril del 2004 por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización esta fue declarada oficial por Decreto Exento N° 89 en la república de Chile, este documento da a conocer los parámetros que existen para determinar la calidad del compost (Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2003, p.14).

1.11.6. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 211:98

Esta norma establece las tolerancias mínimas y máximas permitidas en el grado garantizado de los fertilizantes o abonos, cuando se realice la inspección de fertilizantes. Los valores de tolerancia mínimo y máxima para cada uno de los nutrientes no debe sobrepasar los valores absolutos indicados.

Tabla 2-1: Norma Técnica Ecuatoriana

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 211:98.	Tolerancia mínima y máxima de los macronutrientes secundarios y Micronutrientes. Fertilizantes sólidos	Nutriente	Tolerancia mínima y máxima (mg/l)
		<i>CaO</i>	$0,42 + 0,105 \times G^*$
		<i>MgO</i>	$0,50 + 0,125 \times G$
		<i>S</i>	$0,30 + 0,075 \times G$
		<i>B</i>	$0,005 + 0,25 \times G$
		<i>Mo</i>	$0,000125 + 0,375 \times G$
		<i>Cu, Mn, Fe, Na, Cl</i>	$0,015 + 0,30 \times G$

*G= Es el grado garantizado en unidades de nutriente

Fuente: (INEN, 2013).

Tabla 3-1: Norma Técnica Ecuatoriana

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 211:98.	NUTRIENTE	NITROGENO TOTAL	FÓSFORO ASIMILABLE	POTASIO SOLUBLE
		N (mg/l) (+/-)	P2O5 (mg/l) (+/-)	K2O (mg/l) (+/-)
Tolerancia Mínima y Máxima	4 o menos	0,49	0,67	0,41
	6	0,52	0,67	0,47
	8	0,55	0,68	0,60
	10	0,60	0,70	0,70

	12	0,61	0,75	0,79
	14	0,63	0,80	0,87
	16	0,67	0,85	0,94
	18	0,70	0,90	1,01
	20	0,73	0,95	1,08
	22	0,75	1,00	1,15
	24	0,78	1,05	1,21
	26	0,81	1,10	1,27
	28	0,83	1,15	1,33
	30	0,86	1,20	1,39
	32 o más	0,88	1,25	1,44

Fuente: (INEN, 2013).

1.11.7. Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola

Tabla 4-1: Manual Técnico de F.ES. PAUA

	Nutriente	Macronutrientes primarios y secundarios (mg/l)	Macro y micronutrientes (mg/l)	Solo micronutrientes (mg/l)
Mínimos declarables de concentración de nutrientes	N total	3	3	-
	P (como P ₂ O ₅)	3	3	-
	K (como K ₂ O)	3	3	-
	Ca (como CaO)	1.5	1	-
	Mg (como MgO)	1.5	1	-
	S	1.5	1	-
	B	-	0.010	0.200
	Cu	-	0.002	0.020
	Fe	-	0.020	0.200
	Mn	-	0.010	0.100
	Mo	-	0.002	0.020
	Zn	-	0.0020	0.200

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

Tabla 5-1: Manual Técnico de F.ES. PAUA

Límites máximos permitidos de metales pesados	Metal Pesado	Límites máximos de concentración (kg a la -1)
	Aluminio (Al ³⁺) elemental	250
Arsénico (As)	40	
Cadmio (Cd)	1.5	
Cobalto (Co)	200	
Cromo hexavalente (Cr VI)	2.5	

	Mercurio (Hg)	1
	Níquel (Ni)	50
	Plomo (Pb)	120

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020).

1.11.8. Normativa Europea

Esta normativa impulsa la utilización de materiales reciclados para la producción de fertilizantes orgánicos, que contribuyan a la economía circular y reduzca el uso de nutrientes importados de otros países, facilitando el acceso al mercado de estos fertilizantes orgánicos generando su oferta para agricultores y consumidores. Además de establecer criterios de calidad y seguridad medioambiental.

Tabla 6-1: Normativa Europea

PARAMETROS	LIMITES
MO	>/ 25%
Humedad máxima	40%
Componentes	90% de las partículas pasaran por la malla de 25 mn Las partículas de materiales plásticos y otros inertes eventualmente presentes, no superaran los 10mm

Fuente: (Oficial et al., 2019).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Zona de estudio

La presente investigación se la realizó en:

- Laboratorio de Impactos y Protección Ambiental, Laboratorio de Productos Naturales
- Centro de acopio de residuos sólidos de la ESPOCH

2.2. Diseño experimental

2.2.1. *Tipo y diseño de la investigación*

En el siguiente trabajo de investigación se empleó el método cuantitativo, ya que se realizaron análisis físico-químicos, químicos y biológicos, con la finalidad de evaluar la calidad final del compost, proceso que tuvo una duración de 6 meses lo cual implicó un desarrollo experimental. Como envuelve diferentes variables en lo largo del proceso de compostaje ha sido resuelto por medio de ANOVA de un factor.

2.2.2. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis se enfocó en una fracción representativa de los lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas” de la ciudad de Ambato, ya que la investigación busca una alternativa para tratar los lodos mediante el proceso de compostaje y con ello dar la mejor opción para gestionar de forma correcta este tipo de residuos.

2.2.3. *Población de estudio*

Lodos residuales producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Las Viñitas” del cantón Ambato, residuos de poda provenientes de las diferentes instalaciones y áreas verdes de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A, 2020, p.3).

2.2.4. *Tamaño de muestra*

En este trabajo de investigación no se realizó el cálculo de la muestra, debido a que estas se obtienen durante el tiempo que transcurre el proceso de compostaje, se recogió el total de 9 muestras por cada pila, dando un total de 18 muestras, que fueron empleadas en el laboratorio para los diferentes análisis que se dieron por triplicado.

2.2.5. Selección de la muestra

Para la recolección de las muestras se aplicó el método de cuarteo tomando 7 submuestras de diferentes partes de las unidades experimentales, al final se ha tomado una muestra representativa de aproximadamente 500g para su respectivo análisis en el laboratorio.

2.2.6. Técnica de recolección de datos

En la recolección de datos se realizaron los siguientes pasos:

- Caracterización inicial de los residuos orgánicos.
- Mediciones diarias de temperatura, % de humedad, temperatura ambiente y humedad relativa de las pilas.
- Muestreo durante el proceso de compostaje, se obtuvo una muestra en cada volteo de las pilas.
- Análisis de laboratorio durante el proceso de compostaje, se realizó pH, CE, materia orgánica aniones, índice de germinación, polifenoles, macro y micronutrientes y concentración de metales pesados.
- Análisis del compost ya maduro como resultado del proceso de co-compostaje.
- Registro y tabulación de los resultados.
- Realizar análisis estadísticos resueltos con ANOVA de un factor.

2.2.7. Diseño experimental

2.2.7.1. Variable dependiente

- Calidad del compost en función de los diferentes porcentajes de residuos de poda, lodos residuales y aserrín.

2.2.7.2. Variable independiente

- Propiedades químicas: relación C/N, macronutrientes, micronutrientes, metales pesados, aniones.

- Propiedades fisicoquímicas: pH, CE, humedad y materia orgánica.
- Propiedades biológicas: índice de germinación.

2.2.7.3. Hipótesis

La calidad del compost proveniente del proceso de co-compostaje de los lodos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento “Las Viñitas” junto con residuos de poda y aserrín, depende de las proporciones de residuos empleados.

2.2.8. Materiales y equipos para la elaboración y control de las pilas de compostaje

2.2.8.1. Materia prima para el compost

- Lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas” de la ciudad de Ambato.
- Residuos de poda provenientes de las diferentes instalaciones y áreas verdes de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A).
- Aserrín que cumple la función de material estructurante.

2.2.8.2. Equipos de control de las pilas de compost

- Termohigrómetro (para el control de humedad y temperatura).
- Higrómetro (para el control de la humedad de las pilas).
- Termómetro (para el control de la temperatura de las pilas).

2.2.8.3. Materiales para la implantación del entechado

- Palas
- Carretilla
- Azadón
- Sierra
- Pingos de madera
- Plástico negro
- Plástico de tipo invernadero
- Hojas de Zinc
- Malla
- Clavos

- Martillo
- Flexómetro
- Cuerda

2.2.8.4. *Sustancias*

- Agua

2.3. Técnicas

2.3.1. *Toma de muestras para la caracterización inicial*

Posterior a la obtención del permiso de acceso y recolección de lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas”, se tomó una muestra de 500g de los mismos para la caracterización inicial el laboratorio.



Ilustración 1-2. Silo de almacenamiento de lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas”

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 2-2. Recolección de lodos residuales de la PTAR “Las Viñitas”

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2. Ensamblaje de las pilas de co-compostaje

Tras la obtención de los resultados de los análisis de caracterización inicial como: humedad, materia orgánica, pH, CE, nitrógeno total y carbono orgánico total de la materia prima que fue compostada se continuó con el ensamble de las pilas, priorizando previamente el cálculo de la relación C/N que estuvo entre 25 a 30; con los resultados se procedió a elaborar dos pilas con diferentes proporciones de los residuos la P1 cuenta con un 50% lodos residuales, 30% de residuos de poda y 20% de aserrín, mientras tanto la P2 tiene un 65% lodos residuales, 15% residuos de poda y 20% de aserrín, dando así el inicio a la etapa biooxidativa del proceso. Cabe mencionar que las pilas presentaron una relación C/N entre 25 a 30.

Tabla 1-2: Kilogramos de residuos utilizados en la P1 de compostaje

CODIGO	SISTEMA	RESIDUO	PESO EN kg
CRAB-P1	Windrow	Lodos residuales	1000kg
		Residuos de poda	600kg
		Aserrín	400kg
		Total	2000kg

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Tabla 2-2: Kilogramos de residuos utilizados en la P2 de compostaje

CODIGO	SISTEMA	RESIDUO	PESO EN kg
CRAB-P2	Windrow	Lodos residuales	1300kg
		Residuos de poda	300kg
		Aserrín	400kg
		Total	2000kg

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Materiales

- Baldes
- Palas
- Rastrillo
- Guantes
- Botas de caucho
- Costales
- Manguera
- Fundas Ziploc

Procedimiento

Al ser tres tipos de residuos: lodos residuales, residuos de poda y aserrín, se realizó un planteamiento de las dimensiones que tendrán, siendo la mejor opción construir las dos pilas con las siguientes dimensiones: 2 metros de ancho por 4 metros de largo y 1.50 metros de altura.

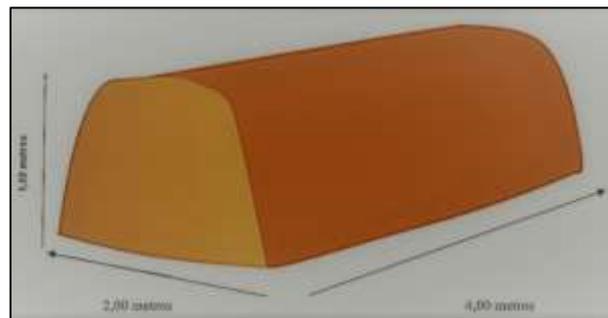


Ilustración 3-2. Dimensiones planteadas para la elaboración de las pilas

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Por la composición de los lodos residuales no fue necesario triturarlos, sin embargo, el triturado se lo realizó a los residuos de poda hasta lograr partículas de 5cm de diámetro.



Ilustración 4-2. Lodos residuales de la PTAR

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Para evitar el contacto con el suelo de los materiales de nuestras pilas de compostaje se colocó un plástico en toda el área donde se ubicaron las pilas. Para que las pilas tengan una estructura uniforme se colocó los residuos dividiendo la cantidad total en partes iguales para así ir armando por capas, esto se realizó hasta que se logró completar las 2 toneladas de residuos en cada pila.



Ilustración 5-2. Pilas de compostaje por capas

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 6-2. Pilas de compostaje

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2.1. Riego de las pilas de compostaje

Para que el proceso de compostaje tenga un desarrollo exitoso siempre se debe mantener una humedad que oscile entre 50-60%.

Materiales

- Manguera
- Boquilla de manguera
- Conectores de manguera

Procedimiento del riego de las pilas de compostaje

Seguidamente del ensamblaje de las pilas de compostaje se debe dar el primer riego, para lo cual se controló la humedad con el higrómetro y cuando estas presentaron un descenso de este parámetro se repitió el proceso de riego de las pilas por aspersión.



Ilustración 7-2. Riego de las pilas de compostaje

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2.2. Control in-situ de la temperatura y humedad de las pilas como también la temperatura y humedad ambiental

Durante la fase biooxidativa se debe tener un control diario de las pilas de compostaje, los parámetros a tener en consideración son: humedad y temperatura de las pilas como también humedad y temperatura ambiental.

Materiales

- Higrómetro para la medición de humedad de las pilas de compostaje.
- Termómetro especial con un vástago de 30 cm para la medición de la temperatura en las pilas de compostaje.
- Termohigrómetro para la medición de humedad y temperatura ambiental.

Procedimiento

Se introdujo tanto el termómetro como el higrómetro en 8 puntos diferentes en cada pila de compostaje, dejando por un tiempo aproximado de 2 minutos lo cual permite que se estabilicen los valores y obtener un dato con precisión.

Para controlar la temperatura y humedad ambiental, se empleó un termohigrómetro que fue ubicado en el centro de la estructura para de esta forma se obtener un dato más preciso. Los datos obtenidos del control diario de estos parámetros se los ubica en una matriz de Excel lo que permite llevar un correcto control de los cambios que pueden suscitar durante el proceso.



Ilustración 8-2. Control de humedad y temperatura de las pilas de compostaje

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 9-2. Control de datos de humedad y temperatura ambiental

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2.3. Volteo de las pilas de compostaje

Para realizar los volteos en las pilas se debe tener en cuenta la temperatura, al existir un descenso de este parámetro por debajo de los 35°C se procedió a dar un volteo completo de las pilas,

aproximadamente se da un volteo cada 3 o 4 semanas, pero priorizando los datos diarios de las temperaturas, en cada volteo se debe tomar una muestra homogénea de 1 kg de cada pila de compostaje.

Materiales

- Botas de caucho
- Palas
- Rastrillo

Procedimiento

Utilizando el rastrillo se esparce la pila, es decir, se extiende el material, se procede con una pala a mezclar los residuos, se debe procurar que lo que se encontraba en el exterior cambie al centro y viceversa, permitiendo que el proceso se vaya dando de forma homogénea y con ello presente mejores resultados. Una vez dado el volteo se controla la humedad y si esta no es la adecuada se procede a regar las pilas por aspersión.



Ilustración 10-2. Proceso de volteo de la pila de compostaje

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2.4. Cambio a etapa de maduración

Una vez finalizada la etapa biooxidativa se procede a realizar un volteo, pero en esta ocasión no se arman montículos, sino que las pilas se extienden de forma rectangular con una altura que va de

entre 40-50 cm de alto, durante el tiempo que lleva esta fase se debe controlar la humedad, misma que se debe mantener ente un 40-60% por una duración de dos meses.



Ilustración 11-2. Pilas en proceso de maduración

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.2.5. Compost maduro proceso finalizado

Finalmente, transcurrida la etapa de maduración, se llevó a cabo un volteo final y se toma una muestra homogénea de cada pila, mismas que son trasladadas al laboratorio para realizar los análisis tanto químicos, físico-químicos y biológicos.

2.3.3. Análisis químicos, físico-químicos y biológicos del proceso de compostaje

2.3.3.1. Humedad

Materiales

- Cápsulas de porcelana
- Balanza analítica
- Estufa

Procedimiento

- Utilizando la balanza analítica se pesó 3 diferentes cápsulas una por cada residuo mismo que fueron apropiadamente rotuladas, en cada una de estas se pesó de igual forma 5 gramos de las muestras de los residuos.
- Se llevó las cápsulas a la estufa y ahí se las dejó a una temperatura de 75°C.

- Se dejó transcurrir un tiempo de 24 horas, después se colocó las cápsulas en el desecador por 30 minutos.
- Para finalizar se volvió a pesar las cápsulas en la balanza analítica y se procedió hacer el cálculo con la diferencia de los pesos obtenidos

Evidencia



Ilustración 12-2. Residuo de poda en la capsula para cálculo de humedad

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$\%H = \frac{mi - mf}{mi} \times 100$$

Donde:

$\%H$ = Porcentaje de humedad

mi = Masa inicial

mf = Masa final

2.3.3.2. Molienda y preparación de muestras

Es indispensable para realizar los análisis de laboratorio que las muestras estén trituradas ya que es necesario tener una partícula fina y homogénea para que los resultados sean lo más correctos posibles.

Materiales

- Molino

- Rotulador
- Fundas Ziploc

Procedimiento

- Se debe dejar secar las muestras previo al triturado.
- Cuando la muestra está bien seca con ayuda de un molino el cual puede ser manual o eléctrico se procede a triturar la muestra.
- Una vez ya triturada la muestra esta se guarda en las fundas de tipo Ziploc, se elimina el exceso de aire y se cierran las fundas.
- Se rotula cada funda con una codificación la misma que sirve para tener en cuenta en los análisis que se realizan posteriormente con el tiempo.

Evidencia



Ilustración 13-2. Molienda manual de las muestras obtenidas

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 14-2. Almacenamiento y rotulado de las muestras

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.3.3. pH

Materiales

- Vidrio reloj
- Cucharilla
- Tubos falcón de 50 ml

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador
- Analizador Multiparámetro

Reactivos

- Agua destilada

Procedimiento

- En la balanza analítica con ayuda del vidrio reloj se pesó 4 gramos de la muestra y después se los puso en el tubo falcón.
- Se añadió 40 ml de agua destilada al tubo falcón y se cerró.
- Los tubos falcón se los colocó en el agitador por un lapso de 2 horas.
- Después se dejó unos minutos hasta que sedimente y se midió el pH directo en el líquido sobrenadante.

Evidencia



Ilustración 15-2. Medición de pH con el Multiparámetro

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.3.4. Conductividad eléctrica

Materiales

- Vidrio reloj
- Cucharilla
- Tubos falcón de 50 ml

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador
- Centrifuga
- Analizador Multiparámetro

Reactivos

- Agua destilada

Procedimiento

- En la balanza analítica con ayuda del vidrio reloj se pesó 4 gramos de la muestra y después se los puso en el tubo falcón.
- Se añadió 40 ml de agua destilada al tubo falcón y se cerró.
- Los tubos falcón se los coloco en el agitador por un lapso de 2 horas.

- Se continuó centrifugando por 10 minutos a 1000 rpm los tubos falcón.
- Por último, se filtró en otro tubo falcón utilizando papel filtro normal y se procedió a medir la conductividad eléctrica utilizando el Multiparámetro.

Evidencia



Ilustración 16-2. Medición de conductividad eléctrica con el multiparámetro

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.3.5. Carbono y Nitrógeno

Materiales

- Espátula
- Tamiz
- Vidrio reloj

Equipos

- Balanza analítica
- Analizador elemental de Carbono y Nitrógeno

Procedimiento

- Se tamizó las muestras para obtener una partícula más homogénea y pequeña.
- Se pesó con ayuda de la balanza analítica en capsulas de estaño 0.5 mg de muestra.
- En un porta muestras numerado se insertado las capsulas de estaño con muestras que pesamos, después este se depositó en el equipo

- El técnico docente nos ayudó realizando la calibración (curva de calibración con STD) del equipo previo a la lectura de las muestras.
- El equipo procedió a realizar la lectura y nos entregó directamente los porcentajes de Carbono y Nitrógeno.

Evidencia



Ilustración 17-2. Pesaje de la muestra para la medición de carbono y nitrógeno

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.3.6. Materia orgánica

Materiales

- Lápiz
- Crisoles
- Pinzas para crisoles
- Cucharilla

Equipos

- Balanza analítica
- Estufa
- Desecador
- Mufla

Procedimiento

- Se etiquetó con ayuda del lápiz en la parte inferior de cada uno de los crisoles que se usaron para que no existan confusiones durante el proceso.
- Se ingresó a la estufa a 105°C por 2 horas todos los crisoles para de esta forma eliminen la humedad que pueden tener.
- Continuamos sacando los crisoles de la estufa y ubicándoles en el interior del desecador por 30 minutos para que vayan llegando a temperatura ambiente.
- Se procedió a pesar cada crisol vacío y en los mismos 3 gramos de muestra, ambos pesos se los apunto para que no se confundan.
- Se ingresó los crisoles ya con la muestra a la mufla que alcanzará los 430 °C por un lapso de 24 horas.
- Al terminarse las 24 horas en la mufla se ingresó nuevamente los crisoles al desecador por 30 minutos.
- Para terminar, se llevó los crisoles a la balanza para pesarlos ya con la muestra calcinada en su interior.

Evidencia



Ilustración 18-2. Pesaje de los crisoles con la materia calcinada

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculo

$$\%MO = \frac{[(\text{peso crisol vacío} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol con muestra calcinada})]}{[(\text{peso crisol vacío} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol vacío})]} * 100$$

Donde:

$\%MO = \text{Porcentaje de materia orgánica}$

2.3.3.7. Índice de germinación

Materiales

- Cajas Petri
- Rotulador
- Espátula
- Tubos falcón
- Papel filtro
- Pipeta automática de 1 ml
- Recipientes estériles de 50 ml

Equipos

- Balanza analítica
- Papel milimetrado
- Estufa

Reactivos

- Semillas de berro
- Agua destilada

Procedimiento

- Para iniciar se pesó 3 gramos de cada muestra y se lo depositó en los tubos falcón donde también se añadió 3 ml de agua destilada, esto con el fin de humedecer la muestra por 30 minutos
- Se continuó completando los 45 ml de agua destilada en los tubos falcón con esto obtenemos una dilución en proporción 1:15 de las muestras.
- Se ubicó los tubos falcón en el agitador mecánico por un lapso de 2 horas.
- Se continuó centrifugando los tubos falcón por 10 minutos a 4000 rpm.
- Después procedimos a filtrar con ayuda del papel filtro cada uno de los contenidos de los tubos falcón y de esta manera obtuvimos el extracto de las muestras.
- Se colocó dentro de cada una de las cajas Petri, una circunferencia de papel filtro que cubra la superficie de esta de igual forma se fue distribuyendo 8 semillas de berro por cada caja.

- Se preparó un blanco (se 2 ml añade agua destilada a la caja con las semillas).
- Se inoculo 10 cajas Petri con 2 ml de extracto de cada muestra, y se incubo en la estufa a 27.5 °C por 48 horas envueltas por papel aluminio.
- Para finalizar concluidas las 48 horas se retiraron las cajas de la estufa y realizamos el conteo y medición de las raíces de las semillas germinadas en cada una de las mismas utilizando para esto el papel milimetrado.

Evidencia



Ilustración 19-2. Colocación del extracto sobre las semillas de berro

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 20-2. Semillas de berro germinadas en las cajas Petri

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$GRS(\%) = \frac{\text{número de semillas germinadas con el extracto de las muestras}}{\text{número de semillas germinadas con agua destilada}} * 100$$

$$CCR(\%) = \frac{\text{longitud de las raices promedio con el extracto de las muestras}}{\text{longitud promedio de las raices con el agua destilada}} * 100$$

$$IG(\%) = \frac{GRS * CRR}{100}$$

Donde:

GRS(%) = Porcentaje de germinación

CCR(%) = Porcentaje de crecimiento

IG(%) = Porcentaje de índice de germinación

2.3.3.8. Polifenoles

Materiales

- Tubos falcón
- Pipeta automática
- Balón de aforo de 50 ml
- Papel filtro
- Rotulador
- Gradilla

Equipos

- Balanza analítica
- Agitador mecánico
- Centrifuga
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Agua destilada
- Carbonato sódico 20%
- Reactivo Folin-Ciocalteu de fenoles
- Ácido Gálico

Procedimiento

- Se inició pesando en la balanza analítica 2 g de muestra y se depositó en un tubo falcón, y se agregó 40 ml de agua destilada para lograr una relación (1:20).
- Se colocó las muestras en el agitador mecánico y se agito por un lapso de 2 horas.
- Se filtró con ayuda del papel filtro teniendo mucho cuidado, tomando siempre en cuenta de que no pasen solidos al extracto.
- Para la elaboración de los estándares: Se pesó 1 g de ácido gálico y se llevó a 1000 ml con agua destilada en un balón de aforo. Esta disolución contiene 1000 ppm de ácido gálico. A partir de la solución de patrón, con la ayuda del siguiente cuadro se preparó los siguientes estándares para calibrar el espectrofotómetro UV-VIS.

Tabla 3-2: Concentraciones para la preparación de estándares para polifenoles

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observación
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I) Nota II: el mismo tratamiento que se le da a las muestras se le debe dar a los estándares
STOCK	1000	2	20	100	
1	20	0.5	1	10	
2	20	1	2	10	
3	20	1.5	3	10	
4	20	2	4	10	
5	20	2.5	5	10	

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

- Antes de aforar cada estándar se adicionó 0,25 ml de reactivo Folin-Ciocalteu. Se agitó para homogeneizar y después de 3 minutos, se añadió 0,5 ml de solución acuosa de carbonato sódico al 20 % y finalmente se agitó para eliminar las burbujas generadas.
- Tratamiento de muestras, de acuerdo con las características de la muestra, se tomó 0,1 ml del extracto de la muestra y antes de aforar la alícuota del extracto, se adicionó 0,25 ml de reactivo Folin-Ciocalteu, se agitó para homogeneizar y después de 3 minutos, se añadió 0,5 ml de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se agitó para eliminar las burbujas generadas y finalmente se llevó a un volumen conocido de 10 ml usando un tubo falcón aforado.
- Luego de adicionar los reactivos para que se dé la reacción se pudo observar un cambio de coloración de amarillo a azul verdoso y finalmente a azul, para que se diera la reacción completa y poder realizar la medición se tuvo que esperar 1 hora.
- Posterior a este tiempo de espera las reacciones presentaron un precipitado que tornó la solución blanquecina o lechosa por lo que se centrifugó por 5 minutos las muestras.
- En el espectrofotómetro se escogió una longitud de onda de 725 nm,
- Se midió la absorbancia de los patrones y se hace la curva. El r^2 debe ser 0,999...

- Se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm.

Evidencia



Ilustración 21-2. Estándares de calibración para el espectrofotómetro UV-VIS

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 22-2. Medición de polifenoles en el espectrofotómetro UV-VIS

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

$V_m =$ Volumen de la Muestra en mililitros,

$P_m =$ Peso de la Muestra en gramos (g),

2.3.3.9. Metales pesados (Arsénico- Cadmio-Mercurio-Plomo-Selenio)

Digestión de muestras para análisis de metales pesados

Materiales

- Erlenmeyer de 250 ml
- Vidrio Reloj (lisos y rugosos)
- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Embudos de vidrio
- Balones aforados de diferentes volúmenes los necesarios para la preparación de reactivos y estándares
- Papel filtro Whatman grado 41
- Filtro de Membrana de 47 mm y 0.45 μm de porosidad

Equipos

- Reverberos
- Cabina de extracción
- Equipo de Filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato)

Reactivos

- Ácido Nítrico HNO_3 1:1
- Ácido Nítrico HNO_3 Concentrado
- Ácido Clorhídrico HCl Concentrado
- Peróxido de Hidrógeno 30%

Procedimiento

- Se pesó 2 gramos de la muestra previamente homogéneas, secas y tamizadas
- Se colocó las muestras en los Erlenmeyer de digestión.

- Se agregó 10 ml de HNO_3 1:1, se mezcló y se cubrió con un vidrio reloj.
- Se calentó la muestra a $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ y se mantuvo en reflujo durante 10 a 15 minutos sin hervir.
- Se dejó que la muestra se enfríe y se refrescó la muestra, agregando 5 ml de HNO_3 concentrado, se colocó la tapa (vidrio reloj) y se mantuvo en reflujo durante 30 minutos.
- Si se generan humos castaños-marrones-oscuros, lo que indica la oxidación de la muestra por HNO_3 , repetir este paso (añadir 5 ml de HNO_3 concentrado.) hasta que desaparezcan estos humos.
- Se evaporó la solución sin hervir hasta aproximadamente 5
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se agregó 2 ml de agua y 3 ml H_2O_2 al 30%.
- Se cubrió el Erlenmeyer con un vidrio reloj y se colocó el vaso cubierto a la fuente de calor, para empezar la reacción con el peróxido.
- Se continuó agregando H_2O_2 al 30% en alícuotas de 1ml, se calentó hasta que la efervescencia sea mínima.
- Se siguió calentando la solución durante dos horas, hasta que la digestión ácido-peróxido se haya reducido a aproximadamente 5 ml.
- Se mantuvo una capa de solución en el fondo del recipiente en todo momento.
- Se agregó 10 ml de HCl concentrado, se colocó el vidrio reloj y se mantuvo en reflujo a 95°C durante 15 minutos.
- Finalmente se filtró la solución por gravedad utilizando embudos de vidrio y papel filtro Whatman grado 41 con la ayuda de un equipo de filtración al vacío a través membranas de acetato de celulosa de $0.45 \mu\text{m}$.
- Se procuró que todo el contenido sólido y líquido que se sometió a digestión fueran filtrados, el recipiente donde se realizó la digestión quedó limpio en la medida de lo posible.
- Se colocó el filtrado en un balón aforado y se llevó a un volumen de 100 ml.

Evidencia



Ilustración 23-2. Proceso de digestión de muestras para análisis de metales

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Preparación de curvas de calibración y acondicionamiento de muestras para lectura en el equipo de Absorción Atómica

Al culminar con las digestiones de las muestras, se fue acondicionando las muestras dependiendo del analito que iba a ser analizado, para que se dé una calibración y lectura correcta.

Arsénico (HG-AAS)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)

- Estándar de Arsénico
- Agua acidulada 10% de HCl

Procedimiento

- Antes de realizar la determinación de la concentración de Arsénico se preparó la Solución Reductora la cual está compuesta por los siguientes reactivos.

Solución al 10% de Yoduro de Potasio (KI) m/v + Solución al 10% de Ácido Ascórbico (C₆H₈O₆) m/v

Se tomó un volumen de 16 ml de muestra a las cuales:

- Se adicionó 2 ml de la solución Reductora en cada muestra
- Se adicionó 2 ml de Ácido Clorhídrico concentrado en cada muestra
- Para la lectura en el Equipo de Absorción Atómica se preparó las siguientes soluciones para la generación de Hidruros.

Solución al 0.5% de Hidróxido de Sodio (NaOH) + Solución al 0.6% Borohidruro de Sodio (NaBH₄).

Tabla 4-2: Concentraciones para el análisis de Arsénico

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	Concentración Obtenida en (ppb o µg/l)	Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I) Nota II: El mismo tratamiento que se le da a las muestras se les debe dar a los estándares.
STOCK	1000	0.1	1	100		
1	1	0.25	0.005	50	5	
2	1	0.5	0.01	50	10	
3	1	1	0.02	50	20	
4	1	2	0.04	50	40	
5	1	2.5	0.05	50	50	

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo}) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

Cadmio (FAAS)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con pera de succión
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Nítrico (HNO₃)
- Estándar de Cadmio

Procedimiento

- Se preparó estándares para calibrar el equipo de absorción atómica con la ayuda de la siguiente tabla.
- Se preparó una solución de HNO₃ al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 5-2: Concentraciones para el análisis de Cadmio

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observaciones
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	
STOCK	1000	0.2	2	100	Aforar cada STD con Agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I)
1	2	0.5	0.02	50	
2	2	1	0.04	50	
3	2	1.5	0.06	50	
4	2	2.5	0.1	50	
5	2	5	0.2	50	

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo}) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

Mercurio (HG-AAS)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)
- Estándar de Mercurio

Procedimiento

- Se preparó estándares para calibrar el equipo de absorción atómica con la ayuda de la siguiente tabla.

Tabla 6-2: Concentraciones para el análisis de Mercurio

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	Concentración Obtenida en (ppb o µg/l)	Aforar cada STD con Agua Acidulada al 1% de HCl
STOCK	1000	0.1	1	100		
1	1	0.25	0.005	50	5	
2	1	0.5	0.01	50	10	
3	1	1	0.02	50	20	
4	1	1.5	0.03	50	30	
5	1	2	0.04	50	40	Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I)

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo}) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

$P_m = \text{Peso de la Muestra en gramos (g)},$

Plomo (FAAS)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Nítrico (HNO_3)
- Estándar de Plomo

Procedimiento

- Se preparó estándares para calibrar el equipo de absorción atómica con la ayuda de la siguiente tabla.
- Se preparó una solución de HNO_3 al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 7-2: Concentraciones para el análisis de Plomo

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observaciones
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	
STOCK	1000	3	30	100	Aforar cada STD con Agua Acidulada al 1% de HNO_3 Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I)
1	30	0.5	0.3	50	
2	30	1	0.6	50	
3	30	1.5	0.9	50	
4	30	2.5	1.5	50	
5	30	5	3	50	

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo}) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

Selenio (HG-AAS)

Materiales

- Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas
- Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión)
- Balones aforados

Equipos

- Cabina de extracción

Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄)
- Estándar de Arsénico

Procedimiento

- Antes de realizar la determinación de la concentración de Selenio se preparó la Solución Reductora

- Se tomó un volumen de 5 ml de muestra a las cuales:
- Se adicionó 5 ml de Ácido Clorhídrico concentrado en cada muestra
- Se calentó a baño maría a 90 °C por 40 minutos.
- Para la lectura en el Equipo de Absorción Atómica se preparó las siguientes soluciones para la generación de Hidruros.

Solución al 0.5% de Hidróxido de Sodio (NaOH) + Solución al 0.6% Borohidruro de Sodio (NaBH₄).

Tabla 8-2: Concentraciones para el análisis de Arsénico

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración Inicial (ppm)	Valor a Tomar de la concentración inicial (ml)	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a Aforar (ml)	Concentración Obtenida en (ppb o µg/l)	Nota: se deberá utilizar Agua Ultrapura (Tipo I) Nota II: el mismo tratamiento que se le da a las muestras se le debe dar a los estándares
STOCK	1000	0.1	1	100		
1	1	0.5	0.01	50	10	
2	1	1	0.02	50	20	
3	1	1.5	0.03	50	30	
4	1	2	0.04	50	40	
5	1	2.5	0.05	50	50	

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

Evidencia



Ilustración 24-2. Determinación de metales en el espectrofotómetro de llama

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 25-2. Observación de los resultados proporcionados por el espectrofotómetro de llama

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

2.3.3.10. Cloruros

Materiales

- Vasos de precipitación
- Espátula
- Guantes
- Rotulador

- Pipetas volumétricas
- Balones de aforo de 100 ml
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Equipos

- Balanza analítica

Reactivos

- Dicromato de Potasio
- Nitrato de Plata

Procedimiento

- Se preparó extractos de las muestras solidas en proporción 1:20 en tubos para centrífuga.
- Se agito en el agitador mecánico durante 2 horas.
- Se retiró del agitador y se centrifugó por 4 minutos a 1000 rpm
- Se filtró con ayuda de equipo de filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato)
- Con micropipeta se tomó 1 ml de este extracto y se aforó a 100 ml.
- Se tomó 25 ml de la nueva solución en un matraz Erlenmeyer
- Se añadió 6 gotas de indicador (K_2CrO_4 5%)
- Se tituló con la solución de $AgNO_3$ 0.01 N hasta la formación de un color ladrillo
- Se midió el volumen de $AgNO_3$ (ml) consumido.

Evidencia



Ilustración 26-2. Proceso de Titulación de muestras para análisis de cloruros

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.



Ilustración 27-2. Muestras tituladas de color ladrillo para análisis de cloruros

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

Cálculos

$$Cl^- \frac{mg}{L} = \frac{(-B) * N * 35.45}{ml \text{ muestra}} * 1000$$

Donde:

A = ml valoración para la muestra

B = ml valoración para el blanco

N = normalidad de $AgNO_3$

2.3.3.11. *Sulfatos*

Materiales

- Balanza analítica
- Espátula
- Rotulador
- Vaso de precipitación
- Balón de aforo 100 ml
- Pipeta volumétrica
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Equipos

- Espectrofotómetro de HACH

Reactivos

- SulfaVer 4 marca HACH/2106769

Procedimiento

- Se preparó extractos de las muestras solidas en proporción 1:20 en tubos Falcón de 50 ml.
- Se agitó en el agitador mecánico durante 2 horas.
- Se retiró del agitador y se centrifugó por 4 minutos a 1000 rpm
- Se filtró las muestras con ayuda de equipo de filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato).
- De este extracto filtrado se tomó 10 ml con una pipeta volumétrica y se llevó a un volumen conocido de 50 ml en un balón aforado.
- Se tomó 10 ml de esta solución y se colocó en un vial.
- Este vial se lee en el espectrofotómetro sin el sobre de SulfaVer 4 marca HACH/2106769 para que el equipo lo tome como blanco.
- Posteriormente a este mismo vial se le agregó el sobre de SulfaVer 4 marca HACH/2106769.
- Se agitó por 1 minuto, se introdujo el vial en el equipo y se dejó en reposo por 5 minutos.
- Una vez pasado el tiempo se introdujo en el equipo y se leyó la concentración de sulfatos.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

2.3.3.12. Fosfatos

Materiales

- Balanza analítica
- Espátula
- Rotulador
- Vaso de precipitación
- Balón de aforo 100 ml
- Pipeta volumétrica
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Equipos

- Espectrofotómetro de HACH

Reactivos

- PhosVer 3 marca HACH/2106069

Procedimiento

- Se preparó extractos de las muestras solidas en proporción 1:20 en tubos Falcón de 50 ml.
- Se agitó en el agitador mecánico durante 2 horas.
- Se retiró del agitador y se centrifugó por 4 minutos a 1000 rpm
- Se filtró las muestras con ayuda de equipo de filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato).
- De este extracto filtrado se tomó 0,5ml con una pipeta volumétrica y se llevó a un volumen conocido de 100ml en un balón aforado.
- Se tomó 10 ml de esta solución y se colocó en un vial.
- Este vial se lee en el espectrofotómetro sin el sobre PhosVer 3 marca HACH/2106069 para que el equipo lo tome como blanco.
- Posteriormente a este mismo vial se le agregó el sobre PhosVer 3 marca HACH/2106069
- Se agitó por 2 minutos, se introdujo el vial en el equipo y se dejó en reposo por 10 minutos.
- Una vez pasado el tiempo se introdujo en el equipo y se leyó la concentración de fosfatos.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

2.3.3.13. Nitratos

Materiales

- Balanza analítica
- Espátula
- Rotulador
- Vaso de precipitación
- Balón de aforo 100 ml
- Pipeta volumétrica
- Probetas
- Pipetas
- Pera de succión
- Piseta

Equipos

- Espectrofotómetro de HACH

Reactivos

- Nitriver 5 marca HACH/2106169

Procedimiento

- Se preparó extractos de las muestras solidas en proporción 1:20 en tubos Falcón de 50 ml.
- Se agitó en el agitador mecánico durante 2 horas.
- Se retiró del agitador y se centrifugó por 4 minutos a 1000 rpm
- Se filtró las muestras con ayuda de equipo de filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato).
- De este extracto filtrado se tomó 10 ml con una pipeta volumétrica y se llevó a un volumen conocido de 50 ml en un balón aforado.
- Se tomó 10 ml de esta solución y se colocó en un vial.
- Este vial se lee en el espectrofotómetro sin el sobre de Nitriver 5 marca HACH/2106169 para que el equipo lo tome como blanco.
- Posteriormente a este mismo vial se le agregó el sobre de Nitriver 5 marca HACH/2106169
- Se agitó por 1 minutos, se introdujo el vial en el equipo y se dejó en reposo por 5 minutos.

- Una vez pasado el tiempo se introdujo en el equipo y se leyó la concentración de fosfatos.

Cálculos

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

2.3.3.14. Micronutrientes (Sodio-Potasio)

Materiales

- Probeta de 50 o 100 ml para dosificar el volumen necesario
- Embudos de vidrio
- Balones aforados de varios volúmenes
- Papel filtro Whatman grado 41
- Filtro de Membrana de 47 mm y 0.45 µm de porosidad
- Tubos Falcón de 50 ml

Equipos

- Agitador
- Centrífuga
- Equipo de Filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato)

Reactivos

- Acetato de Amonio (CH₃COONH₄) 1M

Preparación de los reactivos

- Para la preparación de Acetato de Amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1M, se tomó 77.08g de ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) se disolvió en un volumen adecuado de agua y posteriormente se completó un litro con agua ultrapura en un balón aforado.

Procedimiento

- Se pesó 2 gramos de la muestra homogénea, seca y tamizada.
- Se colocó la muestra en tubos falcón para la extracción
- Se adicionó a la muestra 50 ml de Acetato de Amonio 1M y se agitó por 20 minutos.
- Una vez terminada la agitación se centrifugó y posteriormente se filtró la muestra, evitando que el filtrado presente sólidos suspendidos.
- El extracto obtenido será analizado por Absorción Atómica

Cálculos de Sodio y Potasio

$$C \frac{mg}{kg} = \frac{(C_{Equipo} * FD) * (V_m * \frac{1l}{1000ml})}{P_m * \frac{1kg}{1000g}}$$

Donde:

$$C \frac{mg}{kg} = \text{Concentración a obtener del Analito en mg/kg}$$

C_{Equipo} = Concentración del Analito obtenido en el Equipo en mg/l

FD = Factor de Dilución

V_m = Volumen de la Muestra en mililitros,

P_m = Peso de la Muestra en gramos (g),

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Caracterización inicial de los materiales

La caracterización de los materiales iniciales es primordial puesto que nos ayuda a establecer las proporciones que se agregaron en cada pila de compostaje y de igual forma nos permite hacer una predicción de los posibles resultados a obtener al final del proceso.

3.1.1. Caracterización físico-química inicial de los materiales

Tabla 1-3: Caracterización fisicoquímica inicial de los materiales

Residuos Orgánicos	Peso fresco (kg)	% H	Peso seco (kg)	% C	% N	C/N	MO (%)	pH	CE (µs/cm)
Lodo residual	1000	0,61	390	0,15	0,02	10,00	27,40	7,38	0,725
Residuos de poda	600	0,83	102	0,43	0,03	15,93	86,53	7,58	5,25
Aserrín	400	0,36	256	0,51	0,00	283,33	97,82	6,45	4,25

Fuente: (Laboratorio de impactos y protección ambiental, 2020).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

En la (tabla 12-3) se detalla los resultados obtenidos en la caracterización de los materiales (lodo residual, residuos de poda y aserrín) que forman parte de la mezcla que se utilizó para la construcción de las dos pilas de compostaje, los parámetros analizados inicialmente fueron pH, relación C/N, conductividad eléctrica (CE), humedad y la materia orgánica (MO). Según (Delgado, 2018, p. 967) la mezcla de los residuos se basa en que la relación C/N sea entre 25 a 30 y la humedad este entre (40%-60%) ya que estas son adecuadas para la actividad microbiana. (Idrovo, 2018, p. 388-395).

3.2. Análisis de los parámetros del proceso de compostaje

3.2.1. Resultados de los parámetros del proceso de compostaje

Tabla 2-3:Caracterización físico química durante el proceso de compostaje

Días de compostaje	MO (%)		pH		CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		IG (%)		C/N		C (g Kg^{-1})	
	med	ds	med	ds	med	ds	med	ds	med	Ds	med	ds
	P1 LR 50% + RP 30% + ASER 20%											
0	80,76	+ - 2,73	6,47	+ - 0,03	2089	+ - 33	43,35	+ - 14,15	20,41	+ - 0,44	38,63	+ - 0,07
23	76,88	+ - 0,80	6,44	+ - 0,13	2710	+ - 62	58,48	+ - 1,82	15,94	+ - 0,35	37,77	+ - 0,032
77	71,41	+ - 2,30	6,73	+ - 0,03	1718	+ - 162	66,42	+ - 7,27	15,04	+ - 0,33	37,62	+ - 0,48
112	67,40	+ - 0,96	6,17	+ - 0,03	1522	+ - 64	96,55	+ - 14,83	13,94	+ - 0,09	36,30	+ - 0,05
136	60,84	+ - 1,22	5,76	+ - 0,05	2873	+ - 12	63,40	+ - 11,63	13,44	+ - 0,03	35,94	+ - 0,05
145	59,23	+ - 1,22	5,67	+ - 0,06	2133	+ - 55	44,88	+ - 11,21	12,50	+ - 0,04	35,12	+ - 0,14
165	58,77	+ - 1,14	5,51	+ - 0,03	2060	+ - 56	53,24	+ - 17,10	11,13	+ - 0,36	32,28	+ - 0,07
191	57,18	+ - 1,26	5,52	+ - 0,02	2523	+ - 40	91,02	+ - 9,15	9,92	+ - 0,31	30,38	+ - 0,41
254	50,67	+ - 0,21	5,63	+ - 0,16	1579	+ - 261	88,51	+ - 5,39	11,42	0,00	25,81	+ - 0,00

DMS	2,57		0,13		190,65		0,25		0,62		0,55	
P2 LR 65% + RP 15% + ASER 20%												
	med	ds	med	ds	med	ds	med	ds	med	Ds	med	ds
0	76,99	+ - 1,71	6,28	+ - 0,01	1270	+ - 29	38,44	+ - 14,18	28,38	+ - 1,60	36,44	+ - 0,07
23	68,58	+ - 2,56	5,80	+ - 0,13	1324	+ - 50	62,46	+ - 1,13	19,23	+ - 0,52	25,39	+ - 0,06
77	56,52	+ - 1,25	6,63	+ - 0,04	1042	+ - 17	97,09	+ - 23,03	16,48	+ - 1,29	23,81	+ - 1,41
112	43,53	+ - 0,55	6,26	+ - 0,04	825	+ - 58	92,78	+ - 11,15	16,46	+ - 1,61	23,15	+ - 0,62
136	42,80	+ - 2,86	5,88	+ - 0,09	1445	+ - 30	84,72	+ - 8,84	14,33	+ - 0,09	21,23	+ - 0,29
145	36,53	+ - 4,03	6,25	+ - 0,03	1175	+ - 16	94,82	+ - 12,25	12,03	+ - 0,04	18,40	+ - 0,15
165	35,65	+ - 1,70	6,26	+ - 0,04	1151	+ - 11	76,53	+ - 16,66	10,90	+ - 0,48	17,50	+ - 0,15
191	35,21	+ - 1,57	6,22	+ - 0,02	1175	+ - 5	43,60	+ - 0,67	6,79	+ - 0,07	14,44	+ - 0,44
254	32,43	+ - 0,32	6,13	+ - 0,06	1296	+ - 102	108,81	+ - 1,87	12,31	+ - 0,14	12,81	+ - 0,15
DMS	3,67		0,11		78,32		0,28		2,05		1,25	

Fuente: (Laboratorio de impactos y protección ambiental, 2020).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

3.2.1.1. Materia Orgánica

Las dos pilas de compostaje presentaron un descenso de la materia orgánica. La P1 presentó en el día 0 (80,76%) al día 254 (50,67%) y en la P2 el día 0 (76,99%) al día 254 (32,43%), esto ocurre debido a que las pilas elevaron su temperatura por la actividad microbiana, es decir ocurrió en la etapa biooxidativa. Al elevarse la temperatura favorece la mineralización de la materia orgánica descendiendo su porcentaje, en el tiempo que se llevó a cabo la maduración de las pilas el descenso en la MO fue muy leve, por lo que podemos generalizar que el proceso se dio de una manera adecuada, resultados similares fueron presentados por (Gavilanes, 2015, p. 51).

3.2.1.2. pH

En la (tabla 13-3), se puede verificar que al inicio del proceso tanto la P1 como la P2 presentan un pH cercano al neutro, a medida que transcurre el proceso de compostaje el pH fue descendiendo esto debido a las características de los materiales utilizados en la elaboración de las pilas, en especial el lodo residual, a pesar del descenso el pH se mantuvo dentro del límite expuesto en la normativa estadounidense, misma que establece un límite máximo permisible que va desde (4.5 a 8.5). El pH resultado al final del proceso pudo deberse a la presencia de compuestos azufrados, los mismos que provocan acidez en algunos casos, resultados similares fueron presentados por (Delgado, 2018, p. 970).

3.2.1.3. Conductividad Eléctrica CE

En el caso de la conductividad eléctrica, se relaciona con la degradación de la materia orgánica, a medida que transcurre el tiempo en el proceso de compostaje, es decir que con la disminución de los nutrientes debería darse una disminución en la CE, la P1 presentó un descenso del día 0 de 2089 (dS m^{-1}) al día 254 de 1579 (dS m^{-1}), en el caso de la P2 hasta el día 191 de proceso presentó un descenso de 1270 a 1175 (dS m^{-1}), en lo cual en el tiempo de maduración los valores aumentaron a 1296 (dS m^{-1}), esto se lo puede atribuir al tipo de material que está involucrado en el proceso y de la manera en la que va disminuyendo la toxicidad el compost y de igual forma que presentan la característica de una buena retención de agua (Idrovo, 2018, p. 388-395).

3.2.1.4. Índice de Germinación

El índice de germinación es un parámetro muy importante dentro de la evaluación de cómo se dio un proceso de compostaje, se controla el porcentaje de semillas germinadas como el crecimiento de la radícula, además de ir ligado al contenido de polifenoles y sales que producen fototoxicidad que pudieran estar presentes en las pilas. A medida que el tiempo avanzó en el proceso, se dio una relación inversamente proporcional donde a medida que las concentraciones de polifenoles iban disminuyendo el índice de germinación presentaba un incremento en ambos casos de las pilas armadas.

En la P1 el IG tuvo un aumento en el día 0 de 43,35% al día 254 de 88,51%, en cuanto a la P2 fue del día 0 de 38,44% al día 254 >100%, de esta forma se puede decir que el proceso se dio de manera correcta con ausencia de fitotoxicidad, siendo un parámetro para tener en cuenta en el uso agrario (Fain,2018, p.57).

3.3. Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje

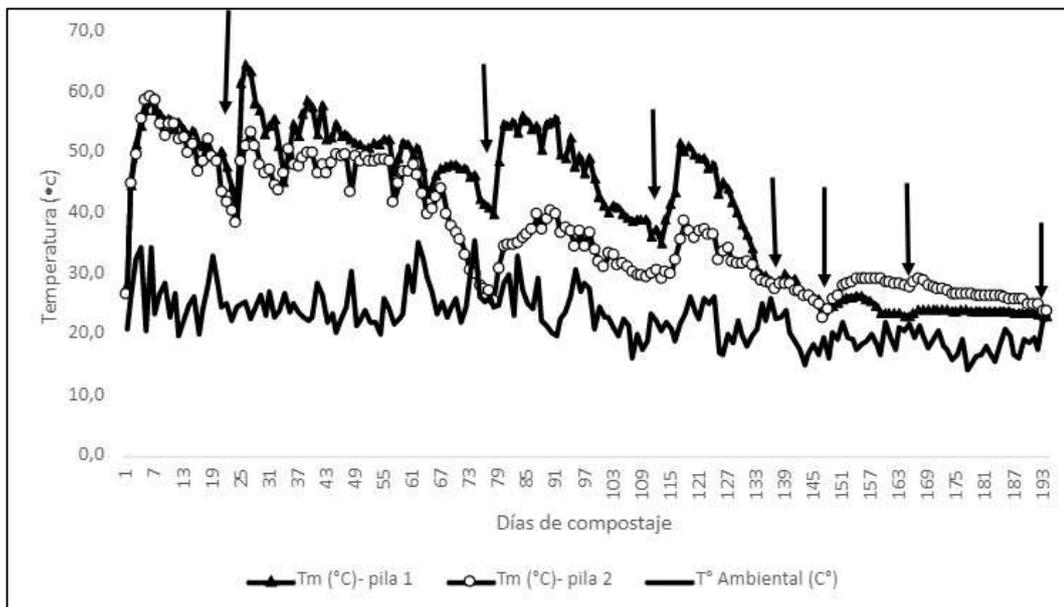


Ilustración 1-3: Evolución de la temperatura en la P1 LR (1000kg) + RP (600kg) + SERR (400kg) y P2 (1300kg) + RP (300kg) + SERR (400kg).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

En la (Ilustración 8-3) se observa el comportamiento de las temperaturas en los días transcurridos en cada una de las pilas. La P1 presentó temperaturas más elevadas que la P2, pero en ambos casos se dio un aumento progresivo de la misma. A partir del volteo número 4 las temperaturas

en las dos pilas mostraron mayor similitud debido a la actividad biológica que se desarrolla en las mismas lo que genera calor y por ello altas temperaturas. Siendo un indicador de que el proceso se estaba realizando de manera correcta, estos cambios de temperaturas también han sido mencionados por otros autores en el proceso de compostaje (Idrovo, 2018, p. 388-395).

Un indicador para realizar un volteo en las pilas es el descenso de la temperatura, durante el proceso realizado en la investigación se dieron 7 volteos en los días: 23, 77, 112, 136, 145, 165 y 191. Al realizar estos volteos permiten una correcta oxigenación del material, homogenización de los residuos en las pilas y activar a los microorganismos para la degradación de la MO, a su vez los volteos permiten el ascenso de las temperaturas y esto permite llevar el proceso de manera íntegra, resultados parecidos fueron presentados por (Gavilanes et al, 2016, 70-73).

A partir del día 165 en el proceso, al haberse dado previamente un descenso considerable de temperatura en ambas pilas y al no existir un nuevo cambio significativo de temperatura se dio un volteo final teniendo en cuenta los cambios en el día 191, finalizando así la fase biooxidativa y dando inicio a la fase de maduración que tendría un lapso de duración de 60 días aproximadamente.

3.4. Evolución de la pérdida de materia orgánica en el proceso de compostaje

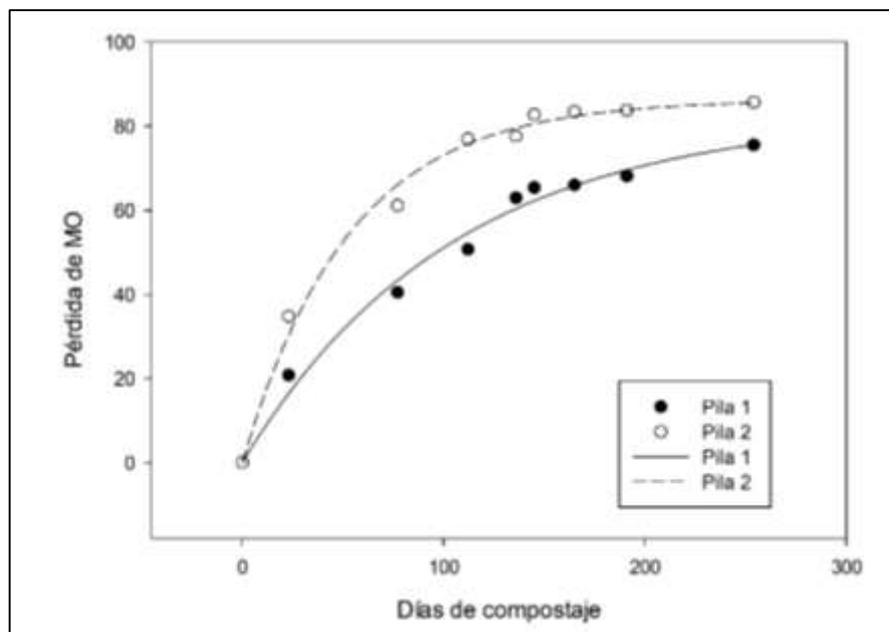


Ilustración 2-3: Degradación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

En la (Ilustración 9-3) se analiza la pérdida de MO durante el proceso de compostaje, la P1 como la P2 presentan un descenso de materia orgánica durante la fase biooxidativa que se dio entre los días 0 a 191, cabe mencionar que la mineralización de la MO es menor durante la etapa de

maduración lo cual genera una estabilidad durante la misma. Se observó cómo ambas pilas se estabilizaban en diferentes parámetros (Gavilanes, 2016, p. 127-134).

La P2 presento inicialmente un contenido menor de MO a diferencia de la P1, esto se le puede atribuir a que en la P1 existe un mayor porcentaje en cuanto a residuos de poda y aserrín, mientras que la P2 tenía un mayor porcentaje en lodos residuales. Se logra comprender que se dio una mineralización de la materia orgánica al identificar que tanto en la P1 como en la P2 los porcentajes de MO descendieron, es decir la P1 en el día 0 presentaba un %MO de 80,76 y en el día 254 un %MO DE 50,67, en la P2 en el día 0 existe 76,99% de MO y al día 254 desciende a 32,43%, observando resultados similares en la investigación de (Gavilanes, 2015, p. 51).

Para la determinación de materia orgánica en el proceso de compostaje se utilizó una ecuación cinética de primer orden:

Tabla 3-3: Parámetros para determinar la pérdida de materia orgánica

PILA	A	SD	k	SD	R	F		SEE
1	82,2	4,8	0,0096	0,0013	0,9941	584,84	***	2,93
2	86,2	1,9	0,0189	0,0017	0,9960	876,50	***	2,79

Fuente: (Laboratorio de impactos y protección ambiental, 2020).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

$$\text{Pérdida de MO} = A(1 - e^{-kt})$$

Dónde:

A= máxima degradación de materia orgánica

k= constante de velocidad

t= tiempo transcurrido en días

3.5. Resultado de los análisis de compost

Tabla 4-3: Resultados de los análisis del compost

PARAMETROS	PILA 1	PILA 2	NORMATIVA AMERICANA	NORMATIVA EUROPEA
Metales				
As (mg/kg)	2,02	3,07	41	-
Se (mg/kg)	1,95	2,24	-	100
Hg (mg/kg)	0,25	0,35	1	7
Pb (mg/kg)	7,54	7,50	41	-
Cd (mg/kg)	0,01	0,01	39	1,5

Micro				
Na (g/kg)	777,73	1131,16	-	-
Cu (mg/kg)	73,20	69,65	1500	1750
Fe (mg/kg)	5743,57	7318,80	-	-
Macro				
NT (%)	2,26	1,04	-	>/10
P (g/kg)	2,18	2,43	>/10	>/10
K (g/kg)	4,63	3,35	-	-

Fuente: (Laboratorio de impactos y protección ambiental, 2020).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

3.5.1. *Arsénico*

En muchas ocasiones se emplean desechos de pollos en la producción de compost lo que genera preocupación, ya que el arsénico en muchas ocasiones forma parte de los medicamentos que se suministran a los pollos como aceleradores de crecimiento y de engorde, que a su vez se excreta en las heces fecales y si se usa como residuo en pilas de compostaje podría registrarse en elevadas cantidades la presencia de este. Respecto a los análisis realizados se encuentran por debajo del límite de detección del método aplicado y por debajo de límite máximo permisible establecido por la norma europea (Escudero, 2016, p.5).

3.5.2. *Selenio*

Como se conoce el selenio tiene un efecto positivo en el sector agrícola puesto que ayuda en el crecimiento de las plantas, previene la sequía, contrarresta el estrés por metales y brinda protección contra depredadores. El selenio tiene varios estados de oxidación como selenato, selenuro y selenio elemental, sin embargo, el que es absorbido por las plantas es el selenio con valencias (Se^{4+} y Se^{6+}). Con respecto a los análisis realizados en la P1 se encontró 1,95 mg/kg y en el caso de la P2 fue 2,24 mg/kg donde ambos casos se encuentran por debajo del límite de detección establecido por la normativa europea (Becvort-Azurra et al., 2012, p.292).

3.5.3. *Mercurio*

El mercurio se encuentra en los diferentes compartimentos ambientales como son suelo-aire-agua y las fuentes de liberación al medio ambiente pueden ser naturales como antropogénicas. Las formas inorgánicas del mercurio son empleadas principalmente como funguicidas y plaguicidas en la actividad agrícola, generando una disminución en la actividad de los microorganismos en la cadena alimentaria, además de presentar efectos negativos para la salud de los seres vivos y el

medio ambiente. Los resultados obtenidos para P1 es de 0.25 mg/kg y para la P2 de 0.35 mg/kg, que se encuentran por debajo de los límites máximos según la normativa (Sepúlveda, Agudelo y Arenga, 2006, p.4).

3.5.4. Plomo

El plomo es uno de los metales más dañinos debido a que afecta en su totalidad a los órganos y sistemas del cuerpo humano, además de ser muy persistente en el medio ambiente. Se considera un metal que no es esencial para el desarrollo de los cultivos, sin embargo, cuando este se encuentra presente causa toxicidad en los suelos agrícolas. Se estima que entre el 60 y 70% de plomo se ingiere en los alimentos de origen vegetal. Debido a la toxicidad del plomo, este influye de forma negativa en el crecimiento de las hojas, pueden llegar a ser cloróticas y sufrir de necrosis, la raíz se torna negro lo cual dificulta la absorción de los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo. Respecto a los análisis realizados las pilas se encontró resultados similares siendo en la P1 7,54 mg/kg y en la P2 7,50 mg/kg los mismo que se encuentran por debajo del límite establecido en la norma americana que indica que debe ser menor que 41 mg/kg. (Méndez et al., 2009, p. 6).

3.5.5. Cadmio

La presencia de cadmio en los suelos agrícolas genera preocupación ya que puede causar efectos negativos en el medio ambiente por su movilidad y la facilidad con lo que es absorbido por las plantas. Otros inconvenientes que genera este metal es la reducción de la actividad fotosintética, disminuye el crecimiento e interfiere en el transporte de los nutrientes y genera un desequilibrio hídrico.

En cuanto a suelos previamente contaminados con cadmio y usados para la producción agrícola, la planta se verá afectada en cuanto a la absorción de nitratos, apertura de los estomas y clorosis por la deficiencia en cuanto a hierro. Los resultados obtenidos para P1 y para la P2 es de 0.01 mg/kg, que se encuentran por debajo de los límites máximos según la normativa europea que indica que debe ser menor a 1,5 mg/kg. (Casa, Río y Sandalio, 2008, p.142).

3.5.6. Sodio

Es un elemento que no se considera esencial para las plantas, sin embargo, en pequeñas cantidades se convierte en un auxiliar en el metabolismo y síntesis de la clorofila. Se conoce que el sodio en elevadas cantidades en el suelo causa la dispersión de partículas, genera una disminución de la permeabilidad de agua lo que se ve reflejado en un desgaste físico del mismo. Los suelos sódicos

se son tratados de una forma diferente, puesto que requieren mejoradores químicos como ácido sulfúrico o yeso agrícola de acuerdo con la ausencia o presencia de magnesio y calcio en los suelos (Par y Basso, 2013, p.5).

3.5.7. Cobre

Es un elemento traza de importancia ya que al formar lignina proporciona soporte y estabilidad manteniendo en posición vertical a las plantas. El cobre forma parte de los cloroplastos en un 70% del Cu total, participando de forma activa en la síntesis de proteínas, polifenoxidasas y clorofila, influye en el color y sabor de los frutos. Es importante mencionar que por el antagonismo que tiene el Cu con diferentes nutrimentos puede ser empleado para reducir toxicidades como la del zinc. Mediante los análisis realizados se encontró que en la P1 presenta 73,20 mg/kg de mientras que la P2 69.65 mg/kg dando como resultado que se encuentran por debajo del límite establecido en la normativa (Gabriel, Lilia y Aguilar-cortes, 2015, p.287).

3.5.8. Hierro

Es un micronutriente esencial en cantidades traza, siendo importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Es empleado en la reducción de sulfatos, nitratos y en la producción de energía en el interior de la planta. El suelo contiene entre 1 a 5% del Fe total, se encuentra en forma de óxidos, silicatos o hidróxidos de hierro, los cuales no están disponibles para las plantas causando una deficiencia de este nutriente que altera la estructura de los cloroplastos, dando lugar a la clorosis férrica, que afecta al metabolismo vegetal y se reflejada en las hojas amarillas de las plantas, al haber realizado los análisis se encontró que el P1 existe 5743,57 mg/kg y en la P2 esta presentes 7318,80 mg/kg, los mismo que están en el rango de la normativa (Talleri, Del y Lepidium, 2021, p.6)

3.5.9. Nitrógeno Total

El nitrógeno es un macronutriente esencial para el desarrollo de cualquier cultivo, se encuentra de forma natural en los suelos ya sea en su forma orgánica o mineral, sin embargo, estas cantidades no son suficientes para las necesidades de las plantas por lo cual se aplican fertilizantes que contengan y aporten este elemento. Forma parte del proceso de síntesis de proteínas, fotosíntesis, división celular y elongación de las raíces, que lo absorbe en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). El exceso de nitrógeno genera inconvenientes ya que al existir una mayor división celular tendrá un crecimiento exagerado volviendo a las plantas susceptibles a plagas, enfermedades, variaciones ambientales como humedad y temperatura lo cual puede debilitar y

matar a la misma. El NT analizado en los compost presentan valores de P1 2,26% y P2 1,04% que de acuerdo con la Normativa Europea (>10%), indicando que se encuentran dentro del rango de compost de buena calidad, por lo tanto, puede ser empleado en suelos como enmiendas para mejorar sus propiedades agronómicas (Ananías et al., 2015,p.125).

3.5.10. Fósforo

Es un nutriente vital para el crecimiento vegetal, interviene en el transporte de nutrientes, fotosíntesis, descomposición de glúcidos y síntesis de proteínas, se lo puede encontrar en estado mineral y a su vez formado parte de compuestos orgánicos fosforados, es requerido en elevadas cantidades por las plantas para un correcto desarrollo. La deficiencia de este elemento genera en las plantas un crecimiento débil además de no darse un crecimiento de flores y frutos, inhibe el crecimiento del tallo, las hojas toman un color oscuro y se tornan de un color azul-verdoso.

Respecto a los análisis realizados la P1 presenta 2.18 mg/kg de mientras que la P2 2.43 mg/kg dando como resultado que se encuentran dentro del límite establecido en la normativa europea y americana que indican que la presencia de estos debe ser menor a 10 mg/kg (Novoa, Miranda y Melgarejo, 2018,p.295-296).

3.5.11. Potasio

Es un elemento de importancia ya que participa en procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas. Interviene en la síntesis proteica, activación enzimática, transferencia de energía, mantiene el equilibrio anión-catión, actividad estomática, osmorregulación y evita el estrés abiótico y biótico. Cuando las plantas presentan deficiencia de potasio su aspecto es marchito y más aún en días de sol o días secos, se pueden observar los bordes de las hojas como que quemaduras y manchas en la parte interior de las hojas dando como resultado un bajo rendimiento del cultivo. Los resultados obtenidos para P1 es de 4.63 mg/kg y para la P2 de 3.35 mg/kg, se encuentran dentro del rango sugerido por las normativas europea y americana (Novoa, Miranda y Melgarejo, 2018,p.295-296).

3.6. Resultados de los análisis de cloruros del compost

Tabla 5-3: Concentración de cloruros en compost iniciales y finales

Cl ⁻ (mg /kg)	
Pila 1	
Inicial	85,72
Maduro	67,22
Pila 2	
Inicial	164,23
Maduro	117,20

Fuente: (Laboratorio de impactos y protección ambiental, 2020).

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

El caso de los cloruros cuya presencia se da en forma de sales, por lo que se les puede relacionar con la CE, como se puede observar en la (tabla 16–3), las concentraciones en ambas pilas después de realizado el proceso descendieron, en la pila 1 de 85,72 a 67,22 mg /kg y de 164,23 a 11,20 mg /kg en la pila 2, muchos factores pueden intervenir en la presencia de los cloruros, el agua empleada para el riego de pilas es una de ellos, en nuestro caso tanto la CE como la concentración de cloruros se observó un descenso , se entiende que el proceso de compostaje se llevó de forma correcta (Brito et al, 2016, p. 11).

3.7. Resultados de los análisis de aniones del compost

Tabla 6-3: Concentración de aniones en compost iniciales y finales

	NO ₃ ⁻ (mg kg)	PO ₄ ³⁻ (mg kg)	SO ₄ ²⁻ (mg kg)
Pila 1			
Inicial	99,98	1200	5497,25
Maduro	331,87	449,78	11395,44
Pila 2			
Inicial	69,98	951,52	5897,05
Maduro	107,96	904,64	8796,48

Fuente: Laboratorio de impactos y protección ambiental.

Realizado por: Cevallos, A.; Sánchez, C., 2022.

3.7.1. Nitratos

En la tabla (17-3) se puede observar cómo en ambas pilas después de pasar todo el proceso los NO_3^- aumentaron en la pila 1 de 99,98 a 331,87 mg /kg y de 69,98 a 107,96 mg /kg en la pila 2, esto tiene sentido ya que a medida que transcurría el tiempo el N aumento su concentración en las dos pilas, la presencia del N es muy importante ya que existe un gran requerimiento del mismo en la producción de los cultivos, los resultados se encuentran dentro de los límites para ocupaciones agrarias (Chimbo, 2018, p. 76).

3.7.2. Fosfatos

Se encuentra ligados a la CE y actúan en la detoxificación de los metales, las concentraciones de fosfatos en las pilas descendieron, en la pila 1 de 1200 a 449,78 mg /kg y de 951,52 a 904,64 mg /kg en la pila 2, se puede decir que esto se debe a que de igual forma a medida que y transcurría el proceso la CE igual descendió, teniendo lógica con lo encontrado en los análisis realizados (Constanza, 2017, p. 197-198).

3.7.3. Sulfuros

En la tabla (17-3) se identifica como en ambos casos de las pilas las concentraciones de SO_4^{2-} ascendieron, en la pila 1 tuvo un aumento de 5497,25 ppm a 11395,44 ppm mientras que en la pila 2 tuvo un significativo aumento de 5897,05 a 8796,48, esto se puede atribuir a las proporciones en las que se encuentra los materiales que intervienen en el compostaje, los sulfatos de igual forma son importantes en el aporte de nutriente para el desarrollo de cualquier cultivo (Daza, 2014, p. 22-30).

CONCLUSIONES

- La caracterización inicial del lodo residual, residuos de poda y aserrín, se realizó con el uso de parámetros que permitieron calcular el porcentaje de residuos que fueron utilizados el armado de cada pila, estos fueron carbono, nitrógeno, materia orgánica MO, humedad, pH y CE, de esta forma se obtuvo la siguiente composición para las unidades experimentales: P1: 50% LR (1000 kg) + 30% RP (600 kg) + 20% ASERR (400kg) y en el caso de la P2: 65% LR (1300 kg) + 15% RP (300 kg) + 20% ASERR (400kg). Una vez ya armadas las pilas presentaron condiciones iniciales muy favorables, como las concentraciones por debajo de los límites de metales pesados (As, Se, Hg, Cd, Pb), así como contenidos adecuados de N, Na, K, y P.
- Se mantuvo un adecuado control del proceso de compostaje mediante la medición de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos entre ellos: temperatura, humedad, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, polifenoles, macro y micronutrientes, metales pesados e índice de germinación (IG). El control diario de la temperatura y humedad permitió mantener activo el proceso de compostaje, el que sirvió de base para el control de la aireación, volteos y finalización de la etapa de maduración.
- La determinación de calidad final del compost se realizó mediante análisis físico-químicos, químicos y biológicos, donde la relación C/N cumple con lo establecido en ambas pilas de compostaje ya que es < 20 , de igual forma en el índice de germinación (IG) se obtuvieron resultados que superan al 90%, para el caso de la degradación de la materia orgánica (MO) cumple con los criterios establecidos en la normativa europea, tanto el pH como la CE dieron resultados que se encuentran dentro de las normas establecidas, con todos estos antecedentes se puede concluir que las dos unidades experimentales al cumplir con que los parámetros estén por debajo o en el rango de los límites establecidos, corresponden a un compost de clase A.

RECOMENDACIONES

- Controlar diariamente y a una hora estandarizada los parámetros in-situ de las pilas de compostaje para obtener valores estandarizados, esto con el fin de obtener un mejor análisis de resultados al final del proceso.
- Mantener correctamente hidratadas las pilas durante el proceso, para conservar una humedad óptima en las mismas.
- Recolectar las muestras de las pilas por toda la superficie de estas, después mezclar para así obtener una muestra homogénea la que se utilizaran en los diferentes análisis de laboratorio.
- Seguir con el estudio a fin de determinar otras variantes o mejorar los resultados obtenidos

BIBLIOGRAFÍA

ABELLAN, J. y PALACIOS, J. “Manual De Compostaje”. *Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino*, vol. 2 (2015), pp. 11-24.

ACUÑA, C.M.B. Compostaje en residuos organicos (Trabajo de titulación). (Titulación). Universidad Nacional de San Agustía, Colombia. 2018. pp. 1-57.

AMADOR D. et al. “Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones”. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 46, no. 15 (2015), pp. 1-10.

AMADOR DÍAZ, Anisley; Et al. “Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones”. *Cenic* [en línea]. 2015, 2(1), p. 1-2. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 6414-1502. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

ANANÍAS, R. et al. “Absorción y concentración de nitrógeno , fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .) En suelos ácidos , san martín , Perú absorption and concentration of nitrogen , phosphorus and potassium in sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .) Planted in acid soils of san martin , Peru”. *Fatlit.* , vol. 24, no. 2 (2015), pp. 123-130.

ARRIGO, N.M., et al. “Residuos de poda compostados y sin compostar: Uso potencial como enmienda orgánica en suelo”. *Ciencia del Suelo* [en línea], 2015, 23(1), pp. 87-92. [Consulta: 9 septiembre 2022]. ISSN 03263169. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.

AUQUILLA TIXI, Erica Silvana. Co-compostaje de gallinaza proveniente de la granja avícola fernandita de la ciudad de Riobamba [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10803>

AYALA GARIBAY, Esthefani Andrea. Aprovechamiento de lodos residuales provenientes de las ptar para la reducción del impacto ambiental [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Universidad científica del sur, Lima, Perú. 2019. p. 1-2. [consultado el 6 de junio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1502/TB-Ayala%20E.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BAQUE, S., VICENTE, J., ULLAURI, R. y EUGENIO, S., “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales Industriales para una empresa Empacadora y Exportadora de Camarón en la ciudad de Guayaquil”. *Scielo*, vol. 1, n°1 (2005), p.2.

BECVORT-AZCURRA, A., et al. “Application of selenium in tomato: effects on plant growth, productivity and fruit antioxidant status”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2015., vol. 30, no. 4, pp. 291-301. [Consulta: 20 agoato 2022]. ISSN 0187-5779. Disponible en: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20133188122.html>.

BERRONES ZÚÑIGA, Deysi Mariela. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia sibambe [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3200>

BERRONES, D. “Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia sibambe ” (Trabajo de titulación). (Titulación), Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015, p.5.

BRITO, J."Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba". *European Scientific Journal, ESJ* [En línea], 2016, (Ecuador) (12) (29), p. 11. [Consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 18577881. Disponible en: <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/8200>

CASA, N.M.et al. “Toxicidad del Cadmio en Plantas”. *Investiacion UCE* , vol. 17, no. 3 (2014), pp. 139-146.

CEREZO CASTRO, J.A. “Estacion Depuradora De Aguas Residuales”. *Scielo*, vol. 4, n°1 (2011), pp. 15-19.

CHIMBO ORELLANA, Victoria Estefanía. Co-compostaje con poda de los lodos generados en el centro de faenamamiento cantón Guaranda Provincia Bolívar (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). [En Línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad De Ciencias, Escuela De Ciencias Químicas, Riobamba - Ecuador. 2018. p. 15-16. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10167>

CHIMBOLEMA, L. Bioremediación y fitoremediación en el río Ambato (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. p.4.

CONSEJO EUROPEO, S. “Determinación de compostaje aplicado a suelos contaminados con mercurio”, *Scielo*, vol.25,.n°6 (2019), pp. 1-114.

CONSTANZA SONIA. Et al. “Comparación de la calidad del humus de material vegetal (de humedales artificiales) con el de residuos orgánicos domésticos” *Scielo*, vol3, n°5 (2020), p.4.

CRUZ ZHOU, Katty Paola. Diseño de un sistema de tratamiento de lodos residuales para el gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón colta [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11060>

DAZA TORRES, Martha Constanza. Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). [en línea]. 2014, vol.23, n.3, p.22-30. [Consultado: 2022-10-12] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542014000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

DE BERTOLDI, D. *Sistemas y técnicas para el compostaje* [en línea]. España: SpanishEditorial, 2015. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf

DELGADO, M. “Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos”. *Scielo* vol. 35 n°4 (2020), p. 972-973

DOCAMPO, R. . “Compostaje y compost”. *Revista INIA*, vol. 35, n°2 (2013), pp. 63-67.

DOCAMPO, Roberto. “Compostaje y compost”. *ResearchGate* [en línea]. 2013, 4(25), p. 1–2. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 1542-8996. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282094560_Compostaje_y_Compost

ESCUADERO, G. “Agricultura Sustentable Hoja de Datos : Compost”. *Redalyc* vol. 1, n° 2 (2016), pp. 1-8.

FAIN BINDA et al. Madurez en compost de residuos de incubación. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. p.4.

FARIAS, C. y CASTRO, M., “Compostaje una solución en el ambiente”. *Scielo*, vol. 4, n°2 (2005), pp. 26-38.

GABRIEL, O., et al. “Cobre y Níquel , microelementos esenciales en la nutrición vegetal” *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias.* , vol. 2, no. 2 (2015), pp. 285-295.

GARCÍA, N.O. “Lodos residuales : estabilización y manejo”. *Revista Nature*, vol.3, n°2 (2006), pp. 51-58.

GAVILANES TERÁN, Irene. Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR). [En línea]. (Tesis de maestría). Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España. 2015. p.51. [Consulta: 2022-octubre-11]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2002/1/TFM%20Gavilanes%20Ter%C3%A1n,%20%20Irene%20de%20Carmen.pdf>

GAVILANES, I “Windrow composting as horticultural waste management strategy—a case study in Ecuador”. *Waste Management*. Vol. 4, n°8 (2016). pp.50-73.

IDROVO, J. “Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts”. *Elsevier*, vol.1 n° 1 (2016), p. 388-395.

KANT, S. y KAFKAFI, U. “Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos”. *Scielo*, vol, 19, n°2 (2006), p.2.

KOIGEBURG, A. “Agricultura orgánica:El compost”. *Estación Experimental Agropecuaria - Valle inferior del río Negro*, vol.3, n°2 (2007), pp. 1-7.

LAICH, Federico. *El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje* [en línea]. España-Barcelona: EdaitFund, 2006. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf?sequence>

LEMAY REMACHE, N.E. Diseño e implementación de un modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad Piscicaz Alto filial a la Unión de Organizaciones Campesinas de San Juan “UCASAJ”. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 1-14.

LEMAY REMACHE, Nancy Elizabeth. Diseño e implementación de un modelo experimental físico - biológico para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad piscicaz alto filial a la unión de organizaciones campesinas de san juan “ucasaj” [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6263>

LLIVICHUZCA GUAPISACA, Maricela Natali. Tratamientos de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos helmintos [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2016. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12048/1/UPS-CT005871.pdf>

LLIVICHUZCA, M.N., 2016. Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb) (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. p.62.

LUIS, A. y VITERI, A. Tratamiento de residuos solidos. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p14.

MACÍAS RENDÓN, Fabio Paúl. Análisis de las aguas residuales domésticas de la laguna de oxidación las orquídeas mediante la aplicación de neem (azadirachtaindica) como alternativa de reducción de coliformes fecales [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. 2020. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MACIAS%20RENDON%20FABIO%20PAUL.pdf>

MECÁNICA, F. et al. Desechos solidos (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. p114.

MEJÍA HIDALGO, Estalin Fabián. & RAMOS ROMERO, Steven Stalin. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa pública municipal mancomunada de aseo de los cantones colta, alausi y guamote, mediante tratamientos biológicos. compostaje, cocompostaje, vermicompostaje y takakura [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10799>

MEJÍA, E. y RAMOS, S. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa Mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamote, mediante tratamientos biológicos, compostaje, co- compostaje, vermicompostaje y Takakura. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p.87.

MÉNDEZ, P., et al. Quito y los residuos causada por la población (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2009. pp. 1-14.

MENDOZA, M. & VIGÍL, J. “Evaluación Físico – Química Y Microbiológica De Cuatro Niveles De Lodos Ordinarios En La Elaboración De Compost”. *EditSalvador*, vol2, n°6 (2012), pp. 1-157.

MENDOZA, Manuel Vicente; Et al. Evaluación fisicoquímica y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, El Salvador. 2012. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/98>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. “Manual técnico para el registro y control de fertilizantes , enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola”. *Scielo*, vol.20, n°2 (2018), p.43.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. *Manual de compostaje* [en línea]. 2ª ed. España-Madrid: Amigos de la Tierra, 2009. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: https://inarquia.es/wp-content/uploads/2016/10/k2_attachments_Manual_de_Compostaje_Domestico_para_Reducir_la_Generacion_de_Residuos.pdf

MONTES MATOS, M. Bioremediación aplicado a suelos contaminado con metales pesados

(Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 1-14.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. *Composting* [en línea]. EE. UU: Paraninfo, 2020. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_022229.pdf

NCH2880. C2003. *Manual de compostaje* [en línea]. 2a ed. España Madrid: amigos de la tierra, 2009. [consultado el 6 de junio de 2022]. disponible en: https://inarquia.es/wp-content/uploads/2016/10/k2_attachments_manual_de_compostaje_domestico_para_reducir_la_generacion_de_residuos.pdf [en línea]. Chile: Girh, 2003 [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: <https://www.achival.cl/normas/norma-chilena-oficial-nch-2808-of-2003/>

NOVOA, M.A. et al. “Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo , potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate” *Plants.* , vol. 12, no. 2 (2018), pp. 293-307.

PABLO, J. & ALEMAN, P. Compostaje y derivados en suelos tratatados con nitrogeno (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2009. pp. 12-45.

PAR, J. & BASSO, C. “Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional de plantas de papaya”. *Scielo*, vol. 25, no. 2 (2016), pp. 109-116.

SABANDO ÁLVAREZ, Andrea Valeria. Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6663>

SÁNCHEZ BAQUE, Jackson Vicente & ROMÁN ULLAURI, Stuard Eugenio. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para una empresa empacadora y exportadora de camaron en la ciudad de guayaquil (Trabajo de Titulación). (Titulación) Universidad politécnica Salesiana, Quito, Pichincha, Ecuador. 2020. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19149>

SEPÚLVEDA, L. et al. “El mercurio, sus implicaciones en la salud y en el ambiente”. *Revista Luna azul*, vol.6. no. 1 (2016), pp. 1-9.

TALLERI, A. et al. “Hierro en sistemas de riego de agua en San Juan, chimborazo” Scielo, vol2, n°56 (2018), p.6.

TANG, H. et al. “Materials Chemistry of Nanoultrasonic Biomedicine”. *Advanced Materials*, vol. 29, no. 10 (2016), p.5.

TIXE PAUCAR, Marco Vinicio, & RUIZ TANDAZO, Byron José. Efecto del porcentaje de poda sobre el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (forsu) del relleno sanitario de porlón [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10549>

TIXE, M. & RUIZ, B. Efecto Del Porcentaje De Poda Sobre El Proceso De Compostaje De La Fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos (Forsu) Del Relleno Sanitario De Porlón (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 1-14.

VITERI SALÁN, Luis Alberto. Estudio del sistema de alcantarillado sanitario para la evacuación de las aguas residuales en el caserío el placer de la parroquia rio verde de la provincia de Tungurahua [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Universidad de Ambato, Ambato, Ecuador. 2012. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3790>

YAULI LAURA, A.P. Manual para el manejo de desechos sólidos en la Unidad Educativa Darío Guevara, Parroquia Cunchibamba, Cantón Ambato, Provincia Tungurahua (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. p.114.

YAULI, Ana Piedad. Manual para el manejo de desechos sólidos en la unidad educativa darío guevara, parroquia cunchibamba, cantón Ambato, provincia Tungurahua [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2011. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1298>

ZAMBRANO VINUEZA, Mayra Paola. Diseño de un sistema de tratamiento de lodos residuales para el gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón colta [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11060>

ZULIA, U. et al. “Residuos un problema en la acutalida”. *Choice Reviews*, vol. 44, n° 3 (2006), p.67.

ZURITA GARZÓN, Shirley Janeth. Tratamiento de estabilización del lodo residual mediante lombricultura en la planta de tratamiento parroquia chongón [en línea] (Trabajo de Titulación). (Titulación), Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. 2021. p. 1-2. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ZURITA%20GARZON%20SHIRLEY%20JANETH.pdf>.



ANEXOS

**ANEXO A: VISITA TECNICA A LAS INSTALACIONES DE LA PTAR “LAS VIÑITAS”,
AMBATO**

	
<p>Sistema de rejas y desarenadores</p>	<p>Piscinas de fangos activos</p>
	
<p>Silo donde se almacenan los lodos residuales</p>	<p>Deshidratación de lodos</p>

**ANEXO B: FABRICACION DE LA ESTRCUTURA Y ARMAJE DE LAS PILAS DONDE SE
DE COMPOSTAJE**

	
Desbanque del lugar	Levantamiento de los palos de pingo de la estructura
	
Colocacion de los plásticos en las partes exteriores	Lodo residual
	
Armaje por capas de las pilas de compostaje	Pilas ya armadas

ANEXO C: VOLTEOS Y CUIDADOS DE LAS PILAS

	
<p>Control de la temperatura de la pila 1</p>	<p>Riego por aspersión de las pilas de compostaje</p>
	
<p>Presencia de hongos en las pilas de compostaje</p>	<p>Control de la temperatura y humedad</p>
	
<p>Temperatura y humedad relativa</p>	<p>Volteo de las pilas de compostaje</p>



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Abigail Fernanda Cevallos Guaman Cristoffer Ronaldo Sanchez Bonilla
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL
Título a optar: INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL
<ul style="list-style-type: none">f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas, MSc.




2389-DBRA-UPT-2022