



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**TRATAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA
DE PIFO MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: DIANA CAROLINA CHUQUIZALA ERAZO

BRAYAN ANDRÉS SÁNCHEZ ANDRANGO

DIRECTORA: Dra. IRENE DEL CARMEN GAVILANES TERÁN PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

©2022, Diana Carolina Chuquizala Erazo & Brayan Andrés Sánchez Andrango

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

Nosotros, DIANA CAROLINA CHUQUIZALA ERAZO y BRAYAN ANDRÉS SÁNCHEZ ANDRANGO, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo 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, 6 de diciembre del 2022



Diana Carolina Chuquizala Erazo
0604564013



Brayan Andrés Sánchez Andrango
1750192021

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: el Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto de Investigación, “**TRATAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA DE PIFO MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE**”, realizado por los señores **DIANA CAROLINA CHUQUIZALA ERAZO** y **BRAYAN ANDRÉS SÁNCHEZ ANDRANGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Luis Elías Guevara Ñíguez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-06
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-12-06
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-12-06

DEDICATORIA

Al concluir esta etapa maravillosa en mi vida, dedico la presente investigación a mis padres Jacqueline Erazo y Julián Chuquizala, quienes siempre con amor me guiaron en cada etapa de mi vida, y con sus consejos y enseñanzas me ayudaron a ser la persona que soy, gracias por ayudar a cumplir cada uno de mis sueños y sobre todo por siempre creer en mí.

A todos mis amigos, que hicieron de mi etapa universitaria una de las mejores de mi vida, apoyándome siempre con sus consejos y brindándome experiencias inolvidables, gracias por sacarme una sonrisa en cada uno de los momentos difíciles.

Diana

Concluyendo esta etapa de mi vida, agradezco a Dios por ayudarme en este camino y debo dedicar este trabajo a mis padres Milton y Mary, a mis hermanos Dayana y Matías que me enseñaron a cumplir con las metas que uno se propone, a perseverar cuando todo se vuelve en contra y, por último, pero no menos importante a todos mis amigos y familiares que con sus consejos no me dejaron rendirme y siempre creyeron en mí.

Brayan

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos los conocimientos necesarios para la realización de este trabajo investigativo.

Al Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química “GAIBAQ” por permitirnos formar parte de sus integrantes y enseñarnos la importancia de la investigación y el cuidado del ambiente.

A la Dra. Irene Gavilanes y al Dr. Julio Idrovo directora y miembro de tribunal del presente trabajo de titulación, quienes nos dieron la gran oportunidad de participar en un convenio tan importante a nivel de Universidades como son la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador. A la vez que siempre estuvieron apoyándonos con sus consejos y sobre todo con su amplio conocimiento.

Al Ing. Cristian Chuquín, quien nos demostró ser una gran persona y amigo, apoyándonos día a día en cada uno de los análisis de laboratorio compartiéndonos sus conocimientos y experiencias, y sobre todo ayudándonos a adquirir una pasión por la ciencia e investigación.

Al Ing. Víctor Hugo Valverde, quien estuvo con nosotros desde el inicio de esta investigación, ayudándonos con sus consejos y conocimientos.

A todos los técnicos de laboratorio que siempre estuvieron prestos para apoyarnos y hacer posible la realización de esta investigación.

A cada uno de nuestros amigos, que nunca dudaron en acompañarnos y ayudarnos voluntariamente en la realización de los diferentes análisis de laboratorio.

Diana & Brayan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Revisión ambiental inicial.....	4
1.2.1. Distrito Metropolitano de Quito.....	4
1.2.1.1. Parroquia Pifo.....	5
1.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales “Barrios Pifo”.....	5
1.2.2.1. Etapas de tratamiento de aguas residuales.....	6
1.3. Bases teóricas.....	8
1.3.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	8
1.3.2. Niveles de tratamiento de aguas residuales.....	9
1.3.2.1. Pretratamiento.....	9
1.3.2.2. Tratamiento primario.....	9
1.3.2.3. Tratamiento secundario.....	10
1.3.2.4. Tratamiento terciario.....	11
1.3.2.5. Desinfección.....	12
1.3.3. Caracterización de aguas residuales.....	12
1.3.3.1. Parámetros físico-químicos.....	12
1.3.3.2. Parámetros físicos.....	13
1.3.3.3. Parámetros químicos.....	14
1.3.4. Lodos residuales.....	15
1.3.4.1. Problemática.....	15
1.3.4.2. Tipos.....	16
1.3.5. Tratamiento de lodos residuales.....	17
1.3.5.1. Digestión anaerobia.....	17

1.3.5.2.	<i>Digestión aerobia</i>	17
1.3.5.3.	<i>Tratamiento químico</i>	17
1.3.5.4.	<i>Incineración</i>	18
1.3.6.	<i>Uso y aprovechamiento de lodos residuales</i>	18
1.3.7.	Caracterización de lodos residuales	19
1.3.7.1.	<i>Parámetros físico químicos</i>	19
1.3.7.2.	<i>Parámetros químicos</i>	20
1.3.7.3.	<i>Parámetros biológicos</i>	21
1.3.8.	Compostaje	21
1.3.8.1.	<i>Compostaje en pilas estáticas (Windrows)</i>	21
1.3.8.2.	<i>Fases del compostaje</i>	22
1.3.8.3.	<i>Control del proceso</i>	25
1.3.8.4.	<i>Calidad del compost</i>	28
1.3.8.5.	<i>Subproductos</i>	28
1.3.9.	Caracterización del compost final	28
1.3.9.1.	<i>Parámetros físico-químicos</i>	28
1.3.9.2.	<i>Parámetros químicos</i>	29
1.3.9.3.	<i>Parámetros biológicos</i>	31
1.4.	Base Legal	31
1.4.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	31
1.4.2.	<i>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización</i>	32
1.4.3.	<i>Acuerdo Ministerial 097-A</i>	33
1.4.4.	<i>Comisión Europea</i>	34
1.4.5.	<i>EPA 2001</i>	36

CAPÍTULO II

2.	METODOLOGÍA	37
2.1.	Diseño experimental	37
2.1.1.	<i>Tipo y diseño de la investigación</i>	37
2.1.2.	<i>Unidad de análisis</i>	37
2.1.3.	<i>Tamaño de la muestra</i>	37
2.1.4.	<i>Selección de la muestra</i>	37
2.2.	Área de estudio	38
2.3.	Toma de muestras	39
2.3.1.	<i>Muestras de aguas residuales</i>	39
2.3.1.1.	<i>Protocolo de muestreo</i>	40

2.3.2.	<i>Muestras de lodos residuales</i>	41
2.3.2.1.	<i>Protocolo de muestreo</i>	42
2.4.	Pilas de compostaje	43
2.4.1.	<i>Preparación de residuos orgánicos</i>	43
2.4.2.	<i>Elaboración de pilas de compostaje</i>	43
2.4.2.1.	<i>Protocolo para la elaboración de las pilas</i>	44
2.4.3.	<i>Control de parámetros en el desarrollo del proceso de compostaje</i>	45
2.4.3.1.	<i>Procedimiento para el control de parámetros</i>	45
2.4.4.	<i>Toma de muestras del proceso de compostaje</i>	46
2.4.4.1.	<i>Protocolo para la toma de muestras</i>	46
2.5.	Protocolos de análisis de laboratorio de aguas residuales	47
2.5.1.	<i>Parámetros físico químicos</i>	47
2.5.1.1.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	47
2.5.1.2.	<i>Conductividad eléctrica</i>	48
2.5.1.3.	<i>Oxígeno disuelto</i>	48
2.5.1.4.	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</i>	49
2.5.1.5.	<i>Demanda química de oxígeno (DBO)</i>	50
2.5.2.	<i>Parámetros físicos</i>	51
2.5.2.1.	<i>Sólidos sedimentables</i>	51
2.5.2.2.	<i>Sólidos totales</i>	52
2.5.3.	<i>Parámetros químicos</i>	53
2.5.3.1.	<i>Nitrógeno total</i>	53
2.5.3.2.	<i>Fósforo total</i>	54
2.6.	Protocolos de análisis de laboratorio de muestras iniciales y de compost	56
2.6.1.	<i>Preparación de muestras</i>	56
2.6.2.	<i>Parámetros físico químicos</i>	56
2.6.2.1.	<i>Humedad</i>	56
2.6.2.2.	<i>Materia orgánica</i>	57
2.6.2.3.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	58
2.6.2.4.	<i>Conductividad eléctrica</i>	59
2.6.3.	<i>Parámetros químicos</i>	60
2.6.3.1.	<i>Carbono y nitrógeno total</i>	60
2.6.3.2.	<i>Polifenoles solubles</i>	60
2.6.3.3.	<i>Digestión para el análisis de metales</i>	63
2.6.3.4.	<i>Cadmio (Cd)</i>	65
2.6.3.5.	<i>Plomo (Pb)</i>	65
2.6.3.6.	<i>Mercurio (Hg)</i>	66

2.6.3.7.	<i>Arsénico (As)</i>	67
2.6.3.8.	<i>Selenio (Se)</i>	69
2.6.3.9.	<i>Extracción de macronutrientes (Ca, Na, K)</i>	70
2.6.3.10.	<i>Fósforo (P)</i>	71
2.6.3.11.	<i>Calcio</i>	73
2.6.3.12.	<i>Sodio (Na)</i>	74
2.6.3.13.	<i>Potasio (K)</i>	74
2.6.3.14.	<i>Extracción de micronutrientes (Cu, Mn, Fe, Zn)</i>	75
2.6.3.15.	<i>Cobre (Cu)</i>	77
2.6.3.16.	<i>Manganeso (Mn)</i>	78
2.6.3.17.	<i>Hierro (Fe)</i>	78
2.6.3.18.	<i>Zinc (Zn)</i>	79
2.6.3.19.	<i>Procesamiento de resultados (metales pesados, macro y micronutrientes)</i>	80
2.6.3.20.	<i>Extracción para aniones (PO_4^{3-}, NO_3, SO_4^{2-})</i>	81
2.6.3.21.	<i>Cloruros (Cl⁻) (método Mohr)</i>	81
2.6.3.22.	<i>Fosfatos (PO_4^{3-})</i>	82
2.6.3.23.	<i>Nitratos (NO_3^-)</i>	83
2.6.3.24.	<i>Sulfatos (SO_4^{2-})</i>	84
2.6.4.	<i>Parámetros biológicos</i>	85
2.6.4.1.	<i>Índice de germinación</i>	85
2.7.	Análisis estadístico	87

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	89
3.1.	Revisión ambiental inicial	89
3.1.1.	<i>Análisis de muestras de agua</i>	89
3.1.2.	<i>Análisis de muestras de lodos</i>	90
3.2.	Caracterización inicial	92
3.3.	Evolución de las temperaturas en las pilas de compostaje	94
3.4.	Degradación de la materia orgánica	95
3.5.	Evolución de los principales parámetros dentro del proceso de compostaje	97
3.6.	Contenido de nutrientes vegetales y metales pesados	99

CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Caracterización y composición según la bibliografía de los lodos residuales...	16
Tabla 2-1:	Tecnologías para el uso y aprovechamiento de los lodos residuales.....	18
Tabla 3-1:	Parámetros para el control del proceso de compostaje.....	26
Tabla 4-1:	Parámetros ideales en el proceso de compostaje.....	27
Tabla 5-1:	Parámetros de pH óptimos	29
Tabla 6-1:	Parámetros relación C/N	30
Tabla 7-1:	Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce	33
Tabla 8-1:	Rangos de restricciones para las cantidades de compost.....	35
Tabla 9-1:	Parámetros a considerar en compost maduro	35
Tabla 10-1:	Reglamentos sobre aplicación de los lodos de depuradora	36
Tabla 11-1:	Parámetros óptimos para compost final	36
Tabla 1-2:	Ubicación de la Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	38
Tabla 2-2:	Fechas de los muestreos realizados	40
Tabla 3-2:	Fechas de los muestreos realizados	41
Tabla 4-2:	Cálculos de porcentajes de residuos para la pila 1	43
Tabla 5-2:	Cálculos de porcentajes para la pila 2	43
Tabla 6-2:	Cantidad de residuos iniciales utilizados en las pilas de compostaje	44
Tabla 7-2:	Fechas de los muestreos realizados	46
Tabla 8-2:	Estándares para polifenoles solubles.....	61
Tabla 9-2:	Estándares de Cd	65
Tabla 10-2:	Estándares de Pb.....	66
Tabla 11-2:	Estándares de Hg.....	67
Tabla 12-2:	Estándares de As	68
Tabla 13-2:	Estándares de selenio.....	70
Tabla 14-2:	Estándares de P.....	72
Tabla 15-2:	Estándares de calcio	73
Tabla 16-2:	Estándares de Na	74
Tabla 17-2:	Estándares de potasio	75
Tabla 18-2:	Estándares de Cu	77
Tabla 19-2:	Estándares de Mn	78
Tabla 20-2:	Estándares de Fe.....	79
Tabla 21-2:	Estándares de zinc	80
Tabla 1-3:	Resultados de análisis físico-químicos, físicos y químicos en los diferentes muestreos	89

Tabla 2-3:	Resultados de análisis físico-químicos, físicos y químicos en los diferentes muestreos	90
Tabla 3-3:	Resultados de los análisis de materiales iniciales: residuos de cebada (R-CEB), residuos de muestras de lodo (RES-ML) (sms)	92
Tabla 4-3:	Evolución de los principales parámetros durante el proceso compostaje (sms)	97
Tabla 5-3:	Concentración de aniones en compost iniciales y finales	98
Tabla 6-3:	Concentración de nutrientes y metales pesados en compost maduros	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Dimensiones comunes de una pila de compostaje de tipo windrow	22
Figura 2-1:	Evolución de la temperatura y fases del proceso de compostaje. La línea punteada indica la evolución de la temperatura en un proceso sometido a operaciones de volteo	25
Figura 1-3:	Perfiles de temperatura de pila 1 y 2 a través del proceso de compostaje. Las flechas indican los días de volteo	94
Figura 2-3:	Perdidas de materia orgánica (MO) durante el compostaje de la pila 1. La línea representa el ajuste de la curva	95
Figura 3-3:	Perdidas de materia orgánica (MO) durante el compostaje de la pila 2 La línea representa el ajuste de la curva	96

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** OFICIO AVAL DEL GAIBAQ
- ANEXO B:** OFICIO DE PETICIÓN DE INFORMACIÓN AL GAD RUMIÑAHUI
- ANEXO C:** OFICO PARA INSPECCION AL BARRIO LA MOCA, SECTOR PTAR
- ANEXO D:** OFICO DE SOLICITUD DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES
- ANEXO E:** OFICO DE SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA LINEA BASE E INGRESO A LAS PTAR
- ANEXO F:** PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- ANEXO G:** MUESTREOS DE AGUA RESIDUAL
- ANEXO H:** MUESTREOS DE LODO RESIDUAL
- ANEXO I:** ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA
- ANEXO J:** ANÁLISIS DE MUESTRAS DE LODOS
- ANEXO K:** PILAS DE COMPOSTAJE
- ANEXO L:** ANALISIS DE MUESTRAS DE COMPOST

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
pH	Potencial de hidrógeno
CE	Conductividad eléctrica
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
SS	Sólidos sedimentables
ST	Sólidos totales
MO	Materia orgánica
IG	Índice de germinación
FD	Factor de dilución
STD	Estándar
DMS	Diferencia mínima significativa
L	Litro
ml	Mililitro
g	Gramo
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
M	Molaridad
mg/L	Miligramo por litro
Kg/L	Kilogramo por litro
µS/cm	Micro siemens por centímetro
dS/m	Deci siemens por metro
As	Arsénico
Se	Selenio
Cd	Cadmio
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
Ca	Calcio
K	Potasio
Na	Sodio

Mn	Manganeso
Cu	Cobre
Fe	Hierro
Zn	Zinc
C_{org}	Carbono orgánico
NT	Nitrógeno total
PT	Fósforo total
Cl⁻	Cloruros
NO₃⁻	Nitratos
SO₄²⁻	Sulfatos
PO₄³⁻	Fosfatos
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
KCl	Cloruro de potasio
MnSO₄	Sulfato de manganeso
KOH	Hidróxido de potasio
NAOH	Hidróxido de sodio
KI	Yoduro de potasio
NaI	Yoduro de sodio
HNO₃	Ácido nítrico
HCl	Ácido clorhídrico
H₂O₂	Peróxido de hidrógeno
NaN₃	Azida de sodio
C₇H₆O₃	Ácido salicílico
Na₂S₂O₃	Tiosulfato de sodio
NaBH₄	Borohidruro de sodio
C₆H₈O₆	Ácido ascórbico
CH₃COONH₄	Acetato de amonio
AgNO₃	Nitrato de plata
K₂CrO₄	Cromato de potasio
CH₃CH₂OH	Etol

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo tratar los lodos residuales procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), del “Barrios Pifo”, Parroquia Pifo, Quito – Ecuador; mediante compostaje; y establecer una Revisión Ambiental Inicial (RAI) procedentes de la misma. Para la RAI se realizó una descripción de los aspectos operacionales de las instalaciones, al igual que una caracterización de aguas y lodos residuales, los análisis involucraron parámetros físico-químicos, químicos y biológicos, obteniendo resultados con gran variabilidad durante los muestreos, demostrando inconsistencia en el tiempo para la remoción de contaminantes en la mayoría de las instalaciones. Para el proceso de compostaje se utilizaron lodos de la PTAR “Barrios Pifo”, en donde se generan 2,4 ton/mes de residuo, y se ocupó residuo de cebada como material estructurante. Se realizaron 2 pilas mediante sistema windrow, las cuales contenían 35 % residuo de lodo y 65 % de residuo de cebada, 45 % residuo de lodo y 55 % residuo de cebada, respectivamente. En el compost obtenido se evidenció una disminución considerable de materia orgánica, lo que provocó un aumento de pH y CE, además se evidenció una importante reducción en la relación C/N y en la fitotoxicidad. Los nutrientes y metales pesados se encontraron dentro de los límites establecidos por las directrices europeas y americanas, además se obtuvo un índice de germinación > 50 %. Concluyendo así que, el compost derivado de lodos es un material con alto contenido en nutrientes, libre de compuestos potencialmente tóxicos que puede ser utilizado en suelos agrícolas. Se recomienda la ejecución de proyectos en donde se involucre la utilización del compost proveniente de lodos residuales en suelos degradados del sector.

Palabras clave: <COMPOSTAJE>, <LODOS RESIDUALES>, <AGUAS RESIDUALES>, <MATERIA ORGÁNICA>, <BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL>, <COMPOST>, <SISTEMA WINDROW>, <PIFO (PARROQUIA)>.

0035-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The aim of the current research was based on the treatment for the wastewater sludge generated by “Barrios Pifo” Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in Pifo Parish, Quito - Ecuador; this was carried out through a composting process in order to establish an Initial Environmental Review (IER). For the IER, a description of the operational aspects of the facilities was carried out, as well as a characterization of wastewater and sludge. The analyses involved physical-chemical, chemical and biological parameters, obtaining highly-variable results during the sampling process, which reflected inconsistency over time for the removal of pollutants in most of the facilities. For the composting process, sludge from the "Barrios Pifo" WWTP was used, where 2.4 tons/month of waste is generated; in addition, barley residue was used as structural material. Two windrow piles were made, containing 35% sludge residue and 65% barley residue, 45% sludge residue and 55% barley residue, respectively. The compost obtained revealed a considerable decrease in organic matter, which caused an increase in pH and EC, as well as a significant reduction in the C/N ratio and phytotoxicity. Nutrients and heavy metals were within the limits established by European and American guidelines; in addition, a germination index > 50% was also obtained. Thus, concluding that the sludge-derived compost is a material with a high nutrient content, free of potentially toxic compounds that can be used in agricultural soils. It is recommended to implement projects involving the use of compost from sewage sludge from degraded soils in the area.

Keywords: <COMPOSTING PROCESS>, <SEWAGE SLUDGE>, <WASTEWATER>, <ORGANIC MATTER>, <ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY>, <COMPOST>, <WINDROW SYSTEM>, <PIFO (PARISH)>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez. Mgs

0603289877

INTRODUCCIÓN

En varios países en desarrollo, el agua residual doméstica es una de las fuentes principales de contaminación de los recursos hídricos. La descarga de estos efluentes a un cuerpo de agua puede provocar una severa alteración de los parámetros de calidad del agua, la mortandad de organismos y enfermedades (Morillo et al. 2019, p. 933), por lo que en Ecuador la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito (EPMAPS) se ha preocupado por implantar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en sectores del Distrito Metropolitano de Quito, entre estos la parroquia de Pifo, ubicada en Quito.

La purificación del agua mediante el uso de PTAR lleva a la generación de lodos, los cuales presentan una variedad de compuestos: materia orgánica, nutrientes, metales pesados y presencia de organismos patógenos, situación que en la mayoría de los casos dificulta su aprovechamiento y disposición final y se convierte en un potencial contaminante del medioambiente, a todo esto, debemos agregar que, diariamente se generan volúmenes de estos residuos constituyendo un riesgo para la salud (Castillo et al., 2020, p. 23).

A medida que se implementa un mayor número de plantas de tratamiento de aguas residuales, aumenta también la producción de lodos residuales, la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas “Barrios Pifo” genera 2,4 toneladas de éstos mensualmente, por lo que al ser el manejo de estos residuos uno de los mayores desafíos técnicos y operaciones.

La disposición final de lodos residuales implica gastos económicos sumamente elevados, debido a la instalación de reactores estabilizadores o sistemas de deshidratación e incineración para su tratamiento y evacuación. Es por ello, que en muchas ocasiones estos lodos son vertidos al drenaje, descargados a cuerpos de aguas superficiales y rellenos sanitarios e incluso incinerados sin ningún tipo de medidas de protección adecuadas para evitar la polución ambiental (Castillo et al., 2020, p. 23). Por lo que los objetivos del tratamiento de lodos están dirigidos a lograr su estabilización para garantizar una degradación controlada de las sustancias orgánicas que contienen, y eliminar el olor, disminuir el volumen e inactivar organismos patogénicos para su posible utilización posterior o disposición final.

Una forma de disponer adecuadamente el lodo y darle un valor agregado es mediante su estabilización por compostaje. El compostaje es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por una sucesión dinámica de microorganismos de cuya actividad se genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 ° C durante varios días consecutivos. Esto destruye a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con olor a humus, llamado compost, usado para mejorar la calidad del suelo agrícola (Vicencio et al., 2011, p. 264).

JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de aguas residuales como una alternativa para minimizar la contaminación de fuentes receptoras, ha traído impactos positivos, tomando en cuenta que cualquiera que haya sido el tratamiento empleado, éste originará lodos o biosólidos, los cuales al no ser tratados o aprovechados se convertirán en otra fuente de contaminación para el ambiente (Montaguano, 2019, p. 83). La gestión ambiental de estos residuos tiene que ser una de las prioridades de los GAD y estar orientados a la búsqueda de estrategias eficientes que contribuyan al manejo adecuado, minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales basándose en ordenanzas municipales y Constitución Política del Ecuador (Cabrera, 2018, p. 120). El proceso que se utilizará será el compostaje de los lodos de las PTAR de la parroquia Pifo; y las pruebas que se deben realizar abarcan: Parámetros físico-químicos: pH, conductividad eléctrica; parámetros químicos: Materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico total, elementos potencialmente tóxicos (As, Cd, Pb, Se y Hg), macro y micronutrientes (Ca, K, Mn, Fe Cu, Zn, Na, P), aniones (Cl^- , NO_3^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{PO}_4)^{3-}$); parámetros biológicos: Índice de germinación. En la caracterización de las aguas residuales las pruebas que se deben determinar son: Parámetros físico químicos: pH, conductividad eléctrica, temperatura; Parámetros químicos: Oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, sólidos sedimentables, sólidos totales, nitrógeno total y fósforo total.

Esta investigación plantea la valorización del uso de lodos de depuradora generados por la PTAR de la parroquia Pifo para su reutilización, las cuales pueden ser aprovechadas en la agricultura o mejoramiento de suelos; antes de esto deben ser estabilizados para eliminar patógenos, disminuir la atracción de vectores y la capacidad de putrefacción, para lo cual se ha demostrado el uso exitoso de técnicas de tratamiento biológicas, tales como el compostaje, como una viabilidad medioambiental aceptada para la disposición final de estos lodos, existiendo así varias publicaciones como: (Valorización de lodos de depuradora como fertilizante en el marco de la economía circular: de residuo a recurso, 2017) (*Sustainable use of sewage sludge in acid soils within a circular economy perspective, 2017*) que demuestran que los lodos de depuradoras son excelentes materias primas para la elaboración de compost, debido a que su composición es variable en función del tipo de aguas que se depuren y la carga microbiana que tenga, mejorando así la calidad biológica del suelo (Giménez, 2010, p.165). Esta investigación cuenta con el apoyo científico y tecnológico del grupo de investigación GAIBAQ (Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología Ambiente y Química) y forma parte del proyecto de investigación titulado: Diseño automatización y valoración de un sistema de recuperación de energía calórica en el proceso de compostaje.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Tratar los lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Pifo mediante la técnica de compostaje.

Objetivos Específicos

- Establecer una Revisión Ambiental Inicial mediante la descripción detallada de aspectos ambientales y operacionales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Elaborar pilas de compostaje a través de sistema windrow con un monitoreo periódico del proceso de compostaje mediante control in situ y de pruebas de laboratorio.
- Evaluar la calidad del compost obtenido y sus posibles aplicaciones de acuerdo al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales del Ecuador desempeñan un rol importante en la generación de información ambiental dentro de sus jurisdicciones, a través del ejercicio de sus competencias exclusivas, entre ellas la prestación de servicios de gestión de agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales entre otros, tal como se estipula en la Constitución de la República del Ecuador y en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (Argüello y Terán, 2019, p. 10).

A pesar de esto, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Pifo, ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito; actualmente cuentan con muy poca o nula información disponible sobre su funcionamiento, análisis de aguas residuales y disposición de los lodos residuales que son generados en las mismas, situación que es muy inquietante.

En el Ecuador la gestión de lodos provenientes de las PTAR es escasa. En la actualidad, el destino final de los lodos provenientes de las parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito son las escombreras, las cuales son operadas por la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP). En este sentido, la gestión de estos lodos constituye una oportunidad de mejora ambiental y ahorro económico (Gualoto, 2016, p. 17). Estos presentan el mismo tipo de microorganismos patógenos que las aguas residuales, pero en mayor acumulación por la reducción de agua por el espesamiento, la aplicación directa a cualquier cuerpo receptor sin tratamiento previo representa un riesgo para el ser humano y la biota (Torres et al., 2005, p. 55).

El compostaje es un proceso controlado para conseguir la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, aplicable al suelo como mejorador de suelo, es una técnica utilizada desde hace mucho en la agricultura, consistente en el apilamiento de los residuos de la casa, excrementos animales y restos de cosecha, para descomponerlos y transformarlos en un producto fácilmente manejable y aprovechable como mejorador de suelo (Giménez, 2010, p. 49).

1.2. Revisión ambiental inicial

1.2.1. Distrito Metropolitano de Quito

El Distrito Metropolitano de Quito tiene una importancia geopolítica estratégica para el Ecuador. Ocupa una superficie de 4.235,2 km²; alberga al 15,5 % de la población nacional; y es el territorio donde se encuentra la capital político-administrativa del país. El Distrito tiene 65 parroquias, 33

rurales y 32 urbanas; las primeras tienen sus propias características, formas de asentamiento más bien dispersas con actividades productivas ligadas a los sectores primarios y secundarios. Las parroquias urbanas, por su parte, presentan también diferencias en relación a la consolidación, tipologías de servicios, conectividad y equipamientos (Municipio de Quito, 2020, p.13).

La población del Distrito era de 2 239 191, en 2010. Como resultado de un acelerado crecimiento urbano, la población de estas áreas se multiplicó por casi ocho veces, mientras que la rural se cuadruplicó. Los procesos de migración interna son una causa importante del desigual crecimiento de estas áreas (Municipio de Quito, 2020, p.13).

1.2.1.1. Parroquia Pifo

La Parroquia de Pifo está ubicada en el extremo nororiental del Distrito Metropolitano de Quito. Cuenta con 18 580 habitantes según el último censo de 2010. Está limitada al norte por las parroquias de Puembo, Tababela y Yaruquí, al sur por la parroquia de Pintag, al este por las parroquias de Oyacachi y Papallacta y al Oeste por la parroquia de Tumbaco. La parroquia presenta una superficie de 254 871 km², a una altura de 2 790 msnm, la temperatura promedio es de 12 °C una precipitación pluviométrica de 500 a 1 000 mm/año (GAD Pifo, 2015, p. 10).

- *Contaminación hídrica*

Se puede decir que existen niveles alarmantes de contaminación por la presencia de agentes como; metales pesados en el agua de riego, heces y basura arrojadas a las quebradas y ríos por falta de alcantarillado y servicios de recolección de basura cuyo porcentaje de déficit para la región es del 17,5 %, es decir que; 2 990 hogares no tienen alcantarillado. Se detecta que con mayor preminencia que otras parroquias, existe contaminación de agua, por las emisiones generadas por el uso de fungicidas y pesticidas en actividades agrícolas y pecuarias (GAD Pifo, 2015, p. 38).

Razón por la cual la EPMAPS desarrollo un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en el proyecto de Alcantarillado de los barrios: Cochauco, La Virginia y Mulauco, en la parroquia rural de Pifo.

1.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales “Barrios Pifo”

La capacidad de este sistema es de 350 m³/día. Las aguas residuales a tratar son aguas grises de duchas de viviendas, lavanderías, cocinas y aguas negras de sanitarios. Para esta mezcla de aguas grises y negras, se usa el “Sistema de tratamiento de lodos activados por aireación extendida” la cantidad de lodos generados es de 2,4 ton/mes.

1.2.2.1. Etapas de tratamiento de aguas residuales

- *Retención de sólidos gruesos y arena*

El objetivo es retener los sólidos gruesos a través de una rejilla de barrotes compuesta de dos módulos (RJG-001/RJG-002) con separación de 25 mm, los sólidos gruesos que se pretenden retener son: fundas, papel, restos de comida, etc. La rejilla estará ubicada en el canal previo al desarenador (TK-001). El tanque desarenador TK-001 tiene como propósito retener la arena que se encuentra contenida en el agua proveniente del sistema de alcantarillado (agua cruda), la arena sedimentará en el fondo del tanque y será removida cuando se abra la válvula dispuesta en el fondo del tanque. Posterior a este proceso, el agua pasará a través de vertederos triangulares de 90° de pared delgada (VT-001 y VT002), para poder medir los caudales de operación y luego ingresará por gravedad hacia cada uno de los tanques rejilla (TK-002 A y B).

- *Retención de sólidos medios y finos*

En esta etapa el objetivo es retener los sólidos en suspensión más finos que se encuentran en el agua, que ingresan al tratamiento y que pueden ser perjudiciales para las bombas que envían el agua cruda con caudal controlado hacia los aireadores. Algunos sólidos que se pretendería retener son aquellos que tienen dimensiones mayores a 3 mm: papel, plásticos, lanas, pelos, restos de comida, pepas de frutas, etc. La retención se logra a través de una rejilla de acero inoxidable con perforaciones (3mm), ubicada en cada uno de los 2 tanques rejilla TK-002A/B. Esta rejilla permite al operador realizar las labores cotidianas de limpieza, de una manera simple.

- *Homogenización del agua cruda*

El agua proveniente de los tanques rejilla TK-002A/B ingresa por gravedad al tanque homogeneizador TK-003, el propósito del agua en este tanque es permanecer alrededor de 2 horas, en caudal pico, para equilibrar cargas orgánicas y volumétricas. Desde el tanque homogeneizador TK-003 por bombeo controlado ajustando el caudal medio a $350 \text{ m}^3 / \text{día}$ ($14.58 \text{ m}^3 / \text{h}$; 64.21 gal/ min); se envía el agua a la siguiente etapa (aireación, en donde estarán ubicados dos tanques aireadores TK004 A y TK004B).

El caudal excedente será retornado hacia el tanque homogeneizador (TK-003) a través de un by pass, esto simulará el efecto de mezclado y homogenización en tanque. El bombeo y retorno pueden ser realizados por cualquiera de las bombas de transferencia (P-001 A y P-001 B), pero en el caso de que se requiera una mejor homogenización, operarán las dos bombas al mismo tiempo en donde una se dedicará solo a recircular agua al tanque homogeneizador (TK-003).

- *Degradación de materia orgánica por oxidación (lodos activados)*

Se basa en el principio de lodos activados por medio de aireación extendida y tiene como objetivo degradar la materia orgánica presente en el agua cruda proveniente del tanque homogeneizador TK-003. La depuración del agua residual a través de este proceso se lleva a cabo mediante la acción de diversos microorganismos aerobios que oxidan la materia orgánica presente en el agua de desecho y la transforman a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Para llevar a cabo este proceso, los microorganismos requieren de un medio adecuado rico en oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo. En estas condiciones estos microorganismos se multiplican rápidamente formando la biomasa, que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico. El aire (que contiene oxígeno) ingresa a altas presiones por medio de los blowers B-001 A y B (sopladores de aire) y es distribuido uniformemente a través de difusores de burbuja fina (en forma de disco con miles de perforaciones) para formar microburbujas que incrementan el área de contacto para mejorar la transferencia de oxígeno.

- *Clarificación mediante sedimentación de sólidos suspendidos*

Una vez completado el tratamiento biológico se requiere: eliminar la turbulencia en el agua y remover los sólidos (lodos y natas) presentes en el agua biológicamente tratada, este proceso se logra a través de los tanques clarificadores de forma tronco piramidal inverso (TK-005 A/B/C/D) que tienen una pared interna (deflector), que facilita: la sedimentación de lodos en el fondo de los tanques y la clarificación del agua la misma que rebosa sobre los desnatadores DN-001 A/B/C/D (tipo vertedero instalados en los tanques clarificadores) y sale de esta etapa hacia la etapa de desinfección. Los lodos asentados y/o flotantes serán retornados de manera continua a los tanques aireadores TK-005A/B con la ayuda del aire proveniente de los blowers mediante el efecto “air lift”; también los lodos asentados serán evacuados por apertura de las válvulas solenoides ubicadas en el fondo de los tanques clarificadores y serán enviados hacia el tanque de lodos TK-008. Los lodos del tanque TK-008 serán bombeados y retornados hacia los tanques aireadores TK-004 A/B por medio de la bomba de lodos P-002C o bombeados al digestor TK-007, el caudal que manejará esta bomba está en el orden de 25 gpm.

- *Desinfección del agua clarificada para descarga hacia destino final*

La desinfección final del agua clarificada (para eliminar completamente coliformes y bacterias) se da por medio de la dosificación de cloro líquido a través de la bomba dosificadora D-001 en las líneas de descarga de los tanques clarificadores TK-005A/B/C/D (que son las líneas de

descarga de los desnatadores DN-001 A/B/C/D). En el tanque de contacto con cloro TK-006, el desinfectante deberá estar en contacto con el agua por un período de, al menos, 30 minutos para que alcance un valor letal sobre los microorganismos remanentes. El agua desinfectada es el efluente tratado y cumplirá con los parámetros establecidos en la tabla 9 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del anexo 1 de Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA) de la normativa según el Acuerdo Ministerial 097A.

- *Digestión de lodos (concentración de lodos)*

Cuando la concentración de mezcla (lodo –agua) sobrepase el 35 % será necesario evacuar los lodos en exceso de los tanques aireadores, esto se realizará por medio de las bombas de lodos P-002 A/B ubicadas en los tanques aireadores TK-004 A/B, el lodo evacuado será enviado hacia el tanque digestor de lodos TK-007. También se evacuarán lodos directamente de los retornos de lodos y natas de los clarificadores hacia el tanque TK-007. La digestión aerobia de lodos es el método más usado en plantas con caudales menores de 220 L/s para estabilizar su componente orgánico, además es semejante al proceso de lodos activados. Este proceso de digestión aerobia permite reducir la concentración de los sólidos volátiles en un 35-50 %; el objetivo principal de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se debe evacuar posteriormente.

- *Secado de lodos (eras de secado)*

Finalmente, los lodos concentrados serán enviados a las eras de secado 001A/B/C/D, en donde se concentrarán y secarán antes de su disposición final. Si el cliente no construye las eras de secado, los lodos digeridos deberán ser evacuados con la ayuda de un gestor ambiental.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Una PTAR es aquella que ayuda a eliminar sólidos, disminuir cantidad de materia orgánica y contaminantes y devuelve la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen, desde trapos y maderas, hasta tierra y partículas pequeñas que se encuentran en el agua. La disminución de la materia orgánica y de los contaminantes se realiza mediante la utilización de bacterias y microorganismos, ya que estos consumen la materia orgánica del agua residual. La restauración del oxígeno es fundamental, debido a que gracias al oxígeno el agua puede sostener la vida (Belzona, 2010, p. 7).

1.3.2. Niveles de tratamiento de aguas residuales

1.3.2.1. Pretratamiento

- *Desbaste*

Mediante el uso de rejillas, pueden ser mallas, cribas o rejas; ayuda a reducir las obstrucciones en canales y tuberías y aumenta la eficiencia de los tratamientos posteriores (Miranda et al., 2018, p. 44).

- *Desarenado*

Se usan canales que permiten disminuir la velocidad del agua a valores entre 0,2-0,4 m/s, logrando que la materia inorgánica sedimente y que la orgánica permanezca flotando, esto para eliminar las partículas de gran tamaño que no hayan sido eliminadas en el desbaste (Miranda et al., 2018, p. 44).

1.3.2.2. Tratamiento primario

En esta etapa se sedimentan los materiales que se encuentran en suspensión, dejando las aguas residuales en tanques de gran tamaño o, en algunos casos mediante la adición de sustancias quelantes a estos grandes tanques, en ocasiones pueden incluirse tratamientos de neutralización de pH y tratamientos de desorción (Navas, 2017, p. 165).

- *Sedimentación o decantación*

El objetivo es eliminar sólidos sedimentables que no fueron retenidos en el pretratamiento debido a su tamaño y densidad, esto se realiza en un decantador, y los contaminantes de mayor densidad se depositarán al fondo gracias a la gravedad (Miranda et al., 2018, p. 56).

- *Flotación*

Se utiliza en partículas que tienen menor densidad que el agua. Puede ser natural, cuando se separan aceites y grasas, pudiendo inyectar burbujas de aire; o inducida, si la densidad inicial de las partículas es mayor y se reduce con la presurización con microburbujas (Navas, 2017, p. 163).

- *Coagulación-floculación*

Utilizado para mejorar el grado de separación de las partículas que se encuentran en el agua, debido a que gran parte de los sólidos que no se sedimentan pueden ser coloides, en éstos cada partícula está estabilizada por cargas eléctricas negativas en su superficie, lo que hace que las partículas cercanas se repelan evitando el choque y la formación de agregados mayores (flóculos), que sedimentarían con mayor facilidad y rapidez. La coagulación ayuda a desestabilizar estos coloides mediante la neutralización, mediante el uso de productos químicos y energía de mezclado que permiten la aglomeración de las partículas formando flóculos pequeños, los cuales se unen formando aglomerados que son capaces de separarse fácilmente del agua (Miranda et al., 2018, p. 64).

- *Filtración*

Es el paso del agua mediante un medio poroso, denominado filtro, este retiene los sólidos perdiendo el paso del líquido (filtrado). Generalmente se utiliza arena, membranas plásticas, carbón activado, cerámicas, etc. Este proceso ayuda a la eliminación de sólidos en suspensión y de microorganismos patógenos (Navas, 2017, p. 163).

1.3.2.3. Tratamiento secundario

Su principal función es eliminar partículas coloidales y similares, generalmente se utiliza un procedimiento biológico en el que se facilita que bacterias anaeróbicas digieran la materia orgánica presente. Se utiliza un tanque de aireación, los cuales garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de microorganismos (Navas, 2017, p. 166).

- *Lodos activados*

Es el proceso más utilizado para el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, ya que permite obtener un efluente de calidad elevada; sin embargo este conlleva un elevado consumo de energía debido a la aireación (Miranda et al., 2018, p. 76). El fundamento de este proceso es la adición de agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias, estos microorganismos ayudan al consumo de la materia orgánica del agua (Navas, 2017, p. 165).

- *Filtros bacterianos*

Se utiliza un soporte con microorganismos fijos, por donde fluyen las aguas residuales. En este procedimiento se produce oxígeno suficiente para asegurar un proceso aerobio, debido a que los

microorganismos utilizados requieren de oxígeno (Navas 2017, p. 165).

- *Biodiscos*

Grandes discos cubiertos con microorganismos, estos giran sumergidos en el agua residual asegurando una aireación que facilite el trabajo de los microorganismos (Navas, 2017, p. 165).

- *Lagunas de estabilización*

Son lagunas de bajo costos, fácil manejo y gran eficiencia; pero requieren de grandes extensiones de terreno y la necesidad de climas tropicales o semitropicales, son utilizadas para reusar los efluentes en agricultura. Estos sistemas constan de excavaciones en el terreno (0,5 a 5 m o más de profundidad) en donde se vierten las aguas residuales, y por acción de los macroorganismos presentes en el agua y de aquellos que se incorporan del ambiente, se logra a bioestabilización de la materia orgánica biodegradable, logrando la transformación de esta materia en biomasa celular y eliminando bacterias patógenas. Calificándose así en: lagunas aerobias, lagunas facultativas, lagunas anaeróbicas, lagunas anóxicas y lagunas aireadas (Lazcano, 2016, p. 271).

1.3.2.4. Tratamiento terciario

Consiste en el uso de procesos físicos y químicos especiales con el objetivo de limpiar contaminantes concretos, tales como: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, compuestos inorgánicos, etc. Este tratamiento es más caro que los anteriores y es utilizado en casos especiales, como en aguas residuales de tipo industrial (Belzona, 2010, p. 21).

- *Intercambio iónico*

Se utiliza un material que es generalmente llamado resinas de intercambio iónico, estas son capaces de retener selectivamente sobre su superficie iones disueltos en el agua residual, manteniéndolos temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. Una aplicación habitual de este procedimiento es para la eliminación de sales en bajas concentraciones (Belzona, 2010, p. 21).

- *Adsorción*

Consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Siendo un parámetro fundamental la superficie específica del sólido, ya que el compuesto soluble a eliminar se va a

concentrar en la superficie del mismo. Este proceso se utiliza para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, etc., y para eliminar olor, color y sabor. El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activado (Belzona, 2010, p. 21).

- *Microfiltración y ultrafiltración*

El principio es la separación física, el tamaño de poro de la membrana determinará hasta qué punto serán eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos y las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana serán retenidas por completo. Las membranas utilizadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro entre 0,1 y 10 μm , mientras que la ultrafiltración retiene moléculas de tamaño entre 0.001 y 0.1 μm (Belzona, 2010, p. 21).

1.3.2.5. Desinfección

Este proceso es el paso final del tratamiento de aguas residuales, ayuda a eliminar microorganismos peligrosos para la salud (Belzona, 2010, p. 21).

- *Cloración*

Es el sistema más sencillo y económico para una desinfección, una de sus desventajas es el empleo y manipulación de un producto químico como es el hipoclorito de sodio. Este sistema supone siempre la utilización de un depósito exclusivo debido a que siempre es necesario un tiempo de contacto adecuado del agua clorada para asegurar la desinfección (Belzona, 2010, p. 21).

1.3.3. Caracterización de aguas residuales

1.3.3.1. Parámetros físico-químicos

- *pH*

El pH se define como el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrógeno presentes (Lazcano, 2016, p. 237). El intervalo de pH para la existencia de vida acuática es entre 5 y 9; por lo tanto, las aguas residuales que se encuentren fuera de estos valores son de tratamiento biológico muy difícil, de allí que es necesario ajustar las aguas residuales que ingresan a las PTAR a los valores de pH indicados, a fin de no alterar el pH de todo el tratamiento. El pH alcalino incrementa el amoníaco (NH_3), que resulta tóxico para los seres vivos acuáticos, principalmente peces (Lazcano, 2016, p. 237).

- *Conductividad eléctrica*

Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala; los valores normales de conductividad en aguas residuales urbanas oscilan en el rango de 500 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Suarez, 2006, p. 2).

- *Temperatura*

La temperatura de las aguas residuales siempre es mayor que la temperatura del agua de la red potable, debido a que generalmente se vierten líquidos calientes y también es mayor que la temperatura del aire, especialmente en los meses fríos; el conocimiento de las temperaturas durante todo el año es necesario para los diseños de las PTAR; por otro lado, la temperatura influye la biodegradabilidad de la materia orgánica, ya que contribuye con los procesos cinéticos químicos y biológicos. La temperatura de las aguas residuales oscila entre 10-20 ° C (15 ° C), por lo general Las temperaturas adecuadas para el crecimiento microbiano se encuentran entre los 25-35 ° C (Lazcano, 2016, p. 236) (WIKI, 2022, p. 16).

1.3.3.2. Parámetros físicos

- *Sólidos sedimentables*

Son la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo. Pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/L) o de una masa (mg/L). En las aguas residuales pueden estar en forma suspendida, coloidal y disuelta. Todos ellos a su vez son de naturaleza inorgánica u orgánica. La fracción orgánica de los sólidos se determina mediante la pérdida por ignición a 600 °C (Menéndez y Pérez, 2007, p. 53) (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013, p. 52).

- *Sólidos totales*

El conocimiento del contenido de sólidos de un agua residual aporta valiosa información sobre sus características, lo cual permite conocer de forma general su naturaleza y si estas requieren de algún tratamiento en particular que facilite su remoción o eliminación. Cuando se habla de sólidos contenidos en un agua residual se está haciendo referencia a aquello que permanece como residuo después de la evaporación y secado de la muestra a 103 °C (Menéndez y Pérez, 2007, p. 53).

1.3.3.3. *Parámetros químicos*

- *Nitrógeno total*

El nitrógeno total tiene un impacto fuerte en la naturaleza debido a que éste como nutriente es causa de un crecimiento excesivo de organismos acuáticos que consumen oxígeno durante la noche y excretan sustancias que causan olor y sabor. El nitrógeno en las aguas residuales se puede presentar principalmente en forma orgánica, formando parte de proteínas, y en forma amoniacal. El nitrito (NO_2^-) y los nitratos (NO_3^-) rara vez aparecen en las aguas residuales crudas, y cuando existen, se trata fundamentalmente de aguas residuales industriales (Menéndez y Pérez, 2007, p. 17).

- *Fósforo total*

Este elemento constituye un factor imprescindible para la vida de los organismos acuáticos al entrar a formar parte de su estructura. La presencia de compuestos de fósforo en cursos receptores induce el crecimiento de algas. Estas afectan de forma notable la calidad de las aguas ya que pueden ser el origen de toda una secuencia de fenómenos, dado que este elemento es el limitante para el desarrollo de estas formas de vida. La luz y los compuestos de nitrógeno (los cuales son los otros elementos imprescindibles) son generalmente abundantes (Menéndez y Pérez, 2007, p. 19).

- *Oxígeno disuelto*

La cantidad de oxígeno presente en las PTAR determina sus condiciones aerobias, microaerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos. Los desagües crudos, generalmente tienen bajas concentraciones, mientras que los desagües sépticos son anaeróbicos; para los procesos de desnitrificación es necesario un ambiente anóxico; en los tanques de aireación de lodos activados y las lagunas aireadas es necesaria la incorporación de rotores. El OD permite la respiración de las bacterias aeróbicas y facultativas, así como de todos los organismos; algunos organismos van a servir como indicadores de la concentración de OD en el agua (Lazcano, 2016, p. 240).

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)*

Es uno de los parámetros más utilizados en la caracterización de los contaminantes orgánicos. Esta determinación brinda un estimado del oxígeno disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de los compuestos biodegradables, se identifica una presencia de agua residual municipal cruda o de industria contaminante con un criterio de contaminación de DBO_5 mayor a 120 mg/L (Guerrero, 2010, p. 52) (Menéndez y Pérez, 2007, p. 138).

- *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (Ramírez et al., 2008, p. 12).

1.3.4. Lodos residuales

Los lodos residuales son un tipo de residuo de biomasa producido por degradación microbiana y adsorción de contaminantes en el proceso de tratamiento de aguas residuales, además de contener casi el 80% del agua, los lodos residuales contienen nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, pero también contienen patógenos y metales pesados que fácilmente causan riesgos ambientales, por lo tanto, si no se eliminan correctamente, supondrán una grave amenaza para el medio ambiente y actividades humanas (Meng et al., 2021, p. 276).

Los métodos tradicionales de tratamiento de los lodos residuales incluyen vertederos, emisiones marinas, incineración y compostaje. Los vertederos son los más utilizados debido a su bajo costo y operación simple. De todos modos, se ha demostrado que es un método inadecuado debido a la acumulación de materias nocivas que potencialmente puede pasar a través de la cadena alimentaria y las aguas subterráneas (Xiao et al., 2022, p. 2).

1.3.4.1. Problemática

Contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua. Formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos (Amador, Veliz y Bataller, 2015, p. 1). En muchos casos gran parte son descargados en sistemas de alcantarillado, en cuerpos de agua o dispuestos en tiraderos a cielo abierto sin ningún tratamiento previo que permita tomar las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación o la atracción de vectores, generando problemas de contaminación de mantos freáticos y de salud pública (Oropeza, 2006, p. 64).

La problemática aparece cuando estos dejan de ser un producto y se convierten en un residuo que requiere ser estabilizado. Sin embargo, el problema con respecto al manejo radica principalmente en que no son considerados como un tema de importancia dentro de las políticas públicas en cuanto a manejo de residuos, por tanto, no hay un control adecuado del residuo, lo que lo convierte en un problema de contaminación y de salud pública (Holgún et al., 2014, p. 61, 62).

Históricamente se ha utilizado el vertido no controlado, en algunos casos los lodos eran arrojados

al mar causando grandes estragos en el ambiente, como la destrucción de la biodiversidad marítima (Holguín et al., 2014, p. 61, 62).

También se ha utilizado el vertido en suelo generando problemas de contaminación ambiental y salud pública. Otro método de disposición de lodos es por medio de la incineración, utilizándolos como combustible para la producción de energía, pero esto supone diversos problemas ambientales debido a la emisión de gases nocivos a la atmósfera, principalmente dioxinas y furanos. Además, el sistema de eliminación por incineración es el más costoso y provoca problemas sociales (Holguín et al., 2014, p. 61, 62).

1.3.4.2. Tipos

Cuando nos referimos al tipo de lodo de las aguas residuales de origen doméstico, dependen del nivel de tratamiento al que haya sido sometido, entre ellos existen lodos de tratamiento primario, secundario y terciario. En efecto estos lodos son heterogéneos y sus características físicas, químicas, y biológicas no solo dependen del origen, sino de la tecnología de tratamiento al que fueron sometidos, de la época del año y otros factores exógenos como el clima (Oropeza, 2006, p. 62).

Tabla 1-1: Caracterización y composición según la bibliografía de los lodos residuales

Parámetros	Lodos primarios	Lodos secundarios	Lodos digeridos
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7-6
Contenido de agua (%)	92-96	97.5-98	94-97
SSV (% _{SS})	70-80	80-90	55-65
Gasas (% _{SS})	12-14	3-5	4-12
Proteínas (% _{SS})	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno (% _{SS})	2-5	1-6	3-7
Fósforo (% _{SS})	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas ($NMP/100$ ml)	$10^3 - 10^5$	100-1000	10-100
Metales pesados (% _{SS})			
(Zn, Cu, Pb)	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: (Oropeza, 2006, p. 62).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, NMP: Número Más Probable, SS: Sólidos Suspendidos

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales se originan en dos etapas, los primeros se generan en el tratamiento primario y los otros en el tratamiento secundario. En la etapa de sedimentación primaria es donde se generan los primeros lodos, es en donde se buscará eliminar los sólidos sedimentables. La cantidad generada de lodos dependerá de varios factores como el tiempo de retención hidráulica o la carga superficial. En algunos casos se pueden utilizar ciertos productos químicos para los procesos de sedimentación como son floculantes y

coagulantes lo cual producirá mayor cantidad de lodos (Palacios, 2021, p. 27).

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción (Palacios, 2021, p. 27).

1.3.5. Tratamiento de lodos residuales

En general, las líneas de tratamiento se encuentran enfocadas a dos aspectos, que son: Reducción de volumen; pueden obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20%), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración. Reducción del poder de fermentación o estabilización; consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción, etc. En la figura 1 se muestran las líneas de tratamiento más usuales (Oropeza 2006, p. 64). La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las PTAR en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos (Oropeza, 2006, p. 64).

1.3.5.1. Digestión anaerobia

Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O_2) (Oropeza, 2006, p. 64).

1.3.5.2. Digestión aerobia

Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O_2) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia autooxidación, reduciendo así el material celular (Oropeza, 2006, p. 64).

1.3.5.3. Tratamiento químico

Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo más utilizado (Oropeza, 2006, p. 64).

1.3.5.4. Incineración

Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo (Oropeza, 2006, p. 64).

1.3.6. Uso y aprovechamiento de lodos residuales

En los últimos años, se le ha dado mucha importancia a los lodos como residuo orgánico, y ha despertado el interés para ser aplicado en el suelo, por ser una opción económicamente viable que ofrece beneficios agronómicos, ya que añade elementos fertilizantes como nitrógeno y fósforo, es por ello que uno de sus usos potenciales, es el uso agrícola, ya que tienen un alto contenido de materia orgánica, de micronutrientes y macronutrientes. Los lodos residuales también tienen un uso potencial como fertilizantes forestales; debido a su alto contenido en materia orgánica, pueden contribuir a la recuperación de tierras, ya que permiten que los suelos tengan una mayor cantidad de vegetación y se reestablezcan (Holguín et al., 2014, p. 63).

Según estadísticas, la Unión Europea destina un 45% de sus lodos generados a la agricultura, Estados Unidos utiliza el 49% de sus biosólidos en agricultura, silvicultura y mejoramiento de suelos, Canadá el 52 %, China el 45% y América latina solo el 5.6 % (Holguín et al., 2014, p. 64).

Es importante tomar en cuenta que, así como la fertilización con lodos puede ser beneficiosa, también puede ser perjudicial dependiendo de los niveles de concentración de los microelementos no esenciales (Hg, Cd, Pb, Cr, etc.) y otros esenciales (Fe, Cu, Zn, Mn) que pueden ser tóxicos si sobrepasan los niveles de concentración máxima permitida, por lo que es importante su estabilización antes de su aplicación, se utilizan diversos métodos para estabilizar los lodos antes de disponerlos en el suelo, tales como el compostaje y el vermicompostaje (Holguín et al., 2014, p. 64).

Tabla 2-1: Tecnologías para el uso y aprovechamiento de los lodos residuales

Alternativas de manejo	Producto	Tecnología
Aplicación como fertilizante	Fertilizante orgánico	<ul style="list-style-type: none">• Deshidratación y secado incompleto• Compostaje• Aplicación directa
	Peletización o granulada	<ul style="list-style-type: none">• Secado térmico
	Recuperación de terrenos	<ul style="list-style-type: none">• Secado y mezcla
Aprovechamiento energético	Fermentación anaeróbica	<ul style="list-style-type: none">• Espesamiento y fermentación

	Peletización / Carbonizado	<ul style="list-style-type: none"> • Secado térmico y carbonizado
	Combustión	<ul style="list-style-type: none"> • Secado térmico e incineración
Aprovechamiento en construcción	Pirólisis o como agregado	<ul style="list-style-type: none"> • Pirólisis • Secado térmico y solidificación
Disposición final	Monorelleno o Relleno sanitario	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidratación y secado

Fuente: (ETAPA P, 2019).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

1.3.7. Caracterización de lodos residuales

1.3.7.1. Parámetros físico químicos

- *pH*

El nitrógeno total tiene un impacto fuerte en la naturaleza debido a que éste como nutriente es causa de un crecimiento. Los lodos residuales presentan un amplio rango de pH que va desde 5,5 hasta 12. Sin embargo, su determinación se hace importante por la influencia que tiene durante el proceso de estabilización del lodo, donde su valor varía de forma considerable. Es por eso que se hace necesario el monitoreo antes, durante y después del tratamiento (Bahamón, 2019, p. 29).

- *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica da información sobre si hay que tomar alguna precaución en el momento de la utilización de los lodos para el compostaje. Refleja el contenido en sales de la muestra, fundamentalmente a causa de los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y de los aniones HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} , que forman alrededor del 98% del total de sales solubles (Torrentó, 2011, p. 13).

- *Materia orgánica*

Un lodo residual con elevados contenidos de materia orgánica posee grandes posibilidades de uso en el sector agrario, ya que incide de forma general sobre todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y al mismo tiempo favorece los ciclos geoquímicos. La materia orgánica es el componente principal que determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, la disponibilidad de agua, la susceptibilidad a la erosión, la compactación, e incluso la resistencia de las plantas a los insectos y las enfermedades, dependen en gran medida de la materia orgánica

del suelo (Docampo, 2015, p. 82).

1.3.7.2. *Parámetros químicos*

- *Nitrógeno total*

Es el elemento que más incide sobre la producción agrícola. Su aplicación en el suelo favorece a una agricultura autosustentable, sin embargo, un exceso del mismo provoca impactos negativos en las aguas subterráneas y superficiales. Su peligrosidad radica principalmente en que el nitrógeno, al igual que el fósforo, posee un gran potencial de eutrofización lo cual provoca una sobre fertilización del sistema. Esto trae consigo la disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua, la producción de malos olores y problemas estéticos. El nitrógeno de los lodos residuales es en su mayoría orgánico y muy poco nitrógeno mineral (amoníaco, nitritos, nitratos). De estos, el importante para las plantas es el nitrógeno mineral, por lo que es necesario que todo el nitrógeno orgánico capaz de mineralizarse, se mineralice. Es por eso que el efecto fertilizante del nitrógeno se consigue a largo plazo (Rodríguez, 2010, p. 106).

- *Carbono orgánico total*

La determinación del carbono orgánico es importante dados sus altos niveles para prevenir procesos de digestión anaerobia y evitar el enriquecimiento de Nitrógeno del subsuelo. El contenido de carbono orgánico, es un indicador de la concentración de MO (RAFER, 2019, p. 2).

- *Metales pesados*

Los lodos de aguas residuales son colectores de metales pesados como Zinc, Cobre, Níquel, Cadmio entre otros, los cuales tienden a permanecer inmovilizados en el suelo por quelación con la materia orgánica, adsorción en minerales arcillosos y formando precipitados insolubles, tales como óxidos o carbonatos. Además de elevados niveles representan una importante problemática, pues pueden persistir en el lodo generado durante el tratamiento (Ramírez, 2020, p. 10).

- *Macro y micronutrientes*

La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental, entre los elementos destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. Existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en

los mecanismos de transporte intra y extracelular (Márquez, Díaz y Capitán, 2012. p. 6).

1.3.7.3. Parámetros biológicos

- *Índice de germinación*

El IG representa el producto de la germinación relativa de las semillas por el crecimiento relativo de la radícula. Constituye un indicador de la interacción de los factores que promueven o inhiben la germinación, así como de los respectivos factores que favorecen o impiden el crecimiento de la radícula. Los índices de germinación permiten clasificar los lodos residuales en cuanto a su nivel de fitotoxicidad (Rodríguez et al., 2014, p. 308).

1.3.8. Compostaje

El compostaje es un proceso de estabilización biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno y bajo condiciones controladas. Durante el compostaje moléculas orgánicas complejas se transforman en compuestos simples, a través de la actividad y crecimiento de las bacterias, actinomicetos y hongos. Durante el proceso los microorganismos utilizan una porción del carbono y nitrógeno para la síntesis de materiales celulares (crecimiento), y durante su actividad y desarrollo (respiración) generan calor incrementando la temperatura llegando a predominar en el proceso los microorganismos termofílicos (CONAGUA, 2019, p. 216).

Desde un punto de vista ecológico, el compostaje es un proceso biológico dinámico, que se debe a la actividad combinada de una amplia variedad de poblaciones microbianas incluyendo bacterias, actino bacterias y hongos, que se encuentran ligadas a una sucesión de diferentes condiciones ambientales. Dos parámetros fisicoquímicos son de relevancia durante el proceso. Por un lado, la propia definición de compostaje pone de manifiesto que el proceso ha de verificarse en condiciones aeróbicas, en presencia de oxígeno. El otro parámetro que gobierna el proceso de compostaje de forma protagonista es la temperatura (Pascual et al., 2015, p. 211).

1.3.8.1. Compostaje en pilas estáticas (Windrows)

El material se dispone en largas pilas o montones de 2 a 4 metros de altura, que pueden estar cubiertas o no. La aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos. La frecuencia de los volteos depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla y se realiza para controlar la aireación. Estos volteos se realizan con varios objetivos: control del olor, mayor velocidad de transformación y control de insectos. Es el método más económico en cuanto a consumo de energía (Álvarez, 2014, p. 19).

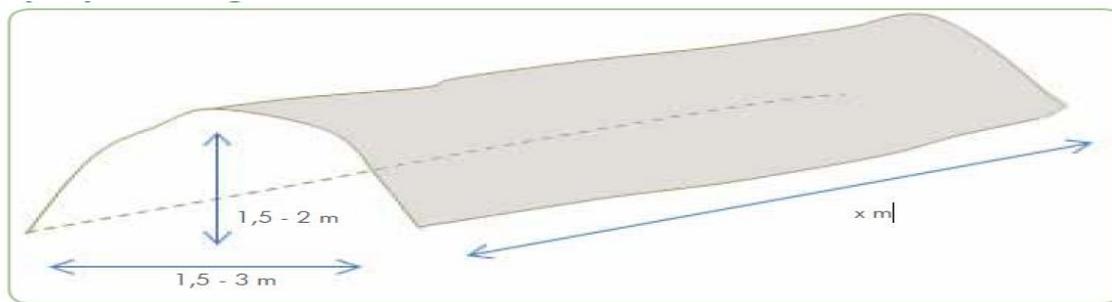


Figura 1-1: Dimensiones comunes de una pila de compostaje de tipo windrow

Fuente: (Román, Martínez y Pandoja, 2013).

1.3.8.2. Fases del compostaje

- *Fase mesofílica*

El proceso se inicia apilando el material y confiriéndole la humedad necesaria (50-60 %) para que los microorganismos puedan desarrollarse. A partir de este momento, las diferentes poblaciones microbianas presentes en el material de partida o provenientes del ambiente circundante, comenzarán a utilizar, para su propio desarrollo, aquellos compuestos que resulten más fácilmente metabolizables y que rindan mayores cantidades de energía celular. Estos compuestos, que se encontrarán en estado soluble, incluyen azúcares, ácidos orgánicos simples y aminoácidos fundamentalmente (Pascual et al., 2015, p. 137).

La temperatura en el interior de la pila, al inicio del proceso, será muy semejante a la ambiental, y se encontrará por tanto en el rango mesófilo. Todas las poblaciones microbianas presentes en esta primera etapa del proceso de compostaje se encuadran en los grupos de bacterias y actinobacterias aerobias mesófilas y en el grupo de hongos mesófilos. A nivel metabólico, como consecuencia de la degradación de compuestos orgánicos sencillos, se generan algunos ácidos orgánicos que hacen bajar el pH del material que forma parte de la pila. También es posible que los propios materiales sujetos a compostaje ya posean un valor de pH ácido, o que se produzcan microambientes anaeróbicos, por una mala difusión del aire al interior de la pila, lo que daría lugar a un metabolismo microbiano de tipo fermentativo que originaría compuestos orgánicos de naturaleza ácida que harían disminuir el pH. La temperatura continúa incrementándose hasta que llega a valores de 45-50 °C (Pascual et al., 2015, p. 137).

- *Fase termofílica*

La degradación de compuestos solubles en la etapa anterior es muy intensa y los valores térmicos que se alcanzan son letales para la microbiota mesófila, por lo que se produce la desaparición de

la misma. La mineralización de la materia orgánica iniciada en la etapa anterior produce la liberación de nitrógeno inorgánico fundamentalmente procedente de la desaminación de proteínas y otros compuestos orgánicos nitrogenados que se traduce en la producción de NH₃, un gas bastante volátil que se pierde a la atmósfera, produciendo previamente un incremento en los valores del pH de la pila. Las tasas de degradación de compuestos orgánicos durante esta etapa son relativamente elevadas comparadas con las de la fase mesófila. Durante esta fase se termina de degradar la mayor parte de los materiales orgánicos solubles fácilmente metabolizables y comienza la utilización del carbono orgánico de naturaleza polimérica (Pascual et al., 2015, p. 138).

La mayor parte del incremento térmico que tiene lugar durante la fase termófila se debe al consumo de compuestos orgánicos solubles, iniciado en la etapa anterior, pero la temperatura continúa aumentando, aunque con una pendiente algo más suave, debido a la utilización de los compuestos orgánicos poliméricos. Posteriormente los monómeros liberados podrán ser transportados al interior celular en donde se incorporarán a las vías metabólicas de generación de energía (Pascual et al., 2015, p. 138).

Durante este periodo, la temperatura puede llegar a alcanzar valores en torno a los 60 °C. Estos niveles de temperatura tienen un efecto selectivo importante, por lo que lo primero que puede observarse es un descenso significativo de la biodiversidad de la pila. En primer lugar, se produce una proliferación específica de microorganismos termófilos. En segundo lugar, se puede observar en esta etapa una reducción masiva en el número de microorganismos patógenos (de origen animal o vegetal) que han accedido a la pila en las materias primas iniciales. En este sentido, puede considerarse que la fase termófila del compostaje ejerce un efecto higienizante comparable a un proceso de pasteurización (Pascual et al., 2015, p. 139).

A temperaturas superiores a 60 °C, la mayor parte de los hongos termófilos mueren. En esta etapa abundan bacterias esporuladas pertenecientes al género *Bacillus* (*B. brevis*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. licheniformis*, *B. subtilis* y *B. stearothermophilus*, este último es predominante a temperaturas superiores a 70 °C). Estos microorganismos continúan con la descomposición de polímeros como ceras, proteínas, celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que permite la continuidad del aumento de la temperatura, la cual puede llegar a alcanzar valores del orden de los 70-80 °C o incluso mayores). Las bacterias antes indicadas y las actinobacterias como *Nocardia spp.*, *Streptomyces rectus*, *S. thermovulgaris*, *S. thermofuscus*, *S. thermoviolaceus*, *Thermoactinomyces vulgaris* y *Thermomonospora spp.* entre otras, contribuyen en gran cuantía a la descomposición de las materias de tipo polimérico (Pascual et al., 2015, p. 139).

Por último, la duración de esta fase termófila varía de acuerdo con la naturaleza de los materiales orgánicos de partida y con el tipo de proceso técnico realizado. Los materiales muy fácilmente biodegradables producen fases termófilas muy cortas en el tiempo. Por el contrario, los materiales muy lignificados suelen dar lugar a fases termófilas largas, incluso de varios meses (sobre todo en climas fríos). Con respecto a la metodología empleada, también influye en la duración de la

fase termófila en particular y del propio proceso de compostaje en general. Aquellas metodologías que aseguran una disponibilidad de oxígeno adecuada y extendida en el tiempo permiten acortar la fase termófila significativamente (Pascual et al., 2015, p. 139).

- *Fase de enfriamiento*

Cuando los sustratos fácilmente asimilables han sido metabolizados y una parte significativa del material polimérico ya se ha degradado, la actividad microbiana disminuye las células que implican menos cantidad de energía química producida y, por tanto, menos cantidad de calor liberado. En realidad, la temperatura desciende porque el calor que se genera es menor que el que se pierde por conducción, radiación, convección. A partir de este momento, el efecto que se produce es contrario a lo que ocurría al comienzo de la fase termófila (Pascual et al., 2015, p. 141).

A medida que disminuye la temperatura hasta situarse de nuevo en el rango mesófilo, se va produciendo un incremento en el número de microorganismos mesófilos, con clara predominancia de hongos cuyas esporas permanecieron en reposo durante el incremento previo de la temperatura en las zonas externas de la pila que han estado expuestas a temperaturas más bajas. Así, cuando la temperatura disminuye por debajo de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que recolonizan el material y continúan con la descomposición de los polímeros remanentes. Al alcanzar los 40 °C, se produce la transición definitiva de microbiota termófila a microbiota mesófila. Fundamentalmente los hongos mesófilos reinician su actividad colonizando el interior de la pila y utilizando como fuentes de carbono y energía la lignocelulosa residual (Pascual et al., 2015, p. 141). Como resultado de la escasa actividad microbiana que se produce en esta fase de enfriamiento, se produce un ligero descenso del pH del medio que ya empieza a estar cercano a la neutralidad. Hay que indicar, no obstante, que una enorme variedad de materias primas susceptibles de ser compostadas nunca llega a dar lugar a productos finales con pH neutro. En la mayor parte de los casos el pH en las etapas finales permanece en el rango alcalino (Pascual et al., 2015, p. 141).

En esta fase aparecen otros tipos de organismos como protozoos, nematodos y miriápodos que cuantitativamente no suponen una elevada proporción, pero que contribuyen a la calidad del producto final ya que actúan sobre los materiales proporcionando características físicas adecuadas relacionadas con la estructura: textura, esponjosidad, porosidad, etc (Pascual et al., 2015, p. 142).

- *Fase de maduración*

En esta etapa, la actividad microbiana es muy escasa y son las poblaciones fúngicas las que tienen un mayor protagonismo. La descomposición de las fracciones lignocelulósicas continúa, especialmente en lo relativo a la celulosa. La degradación de la lignina está reservada a un grupo limitado de microorganismos entre los que destacan algunos hongos del grupo de los

basidiomicetos, en un proceso que se desarrolla de forma muy lenta. Desde el punto de vista químico, en esta etapa se producen cantidades importantes de sustancias húmicas. En realidad, los restos de lignina más o menos modificados, subproductos de la degradación de proteínas, compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, etc. se condensan y polimerizan en distinto grado para dar lugar a compuestos del tipo ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (Pascual et al., 2015, p. 142).

La primera consecuencia de la humificación es el cambio en la coloración del material sujeto a compostaje. A medida que se incrementa la humificación, el compost va adquiriendo una coloración más oscura, típica de los ácidos húmicos que son polímeros de alto peso molecular, con un elevado contenido en carbono y muy insolubles. La presencia de estas sustancias húmicas en el producto final del compostaje, el compost, le confiere propiedades fertilizantes y le otorga la necesaria estabilidad biológica (Pascual et al., 2015, p. 142).

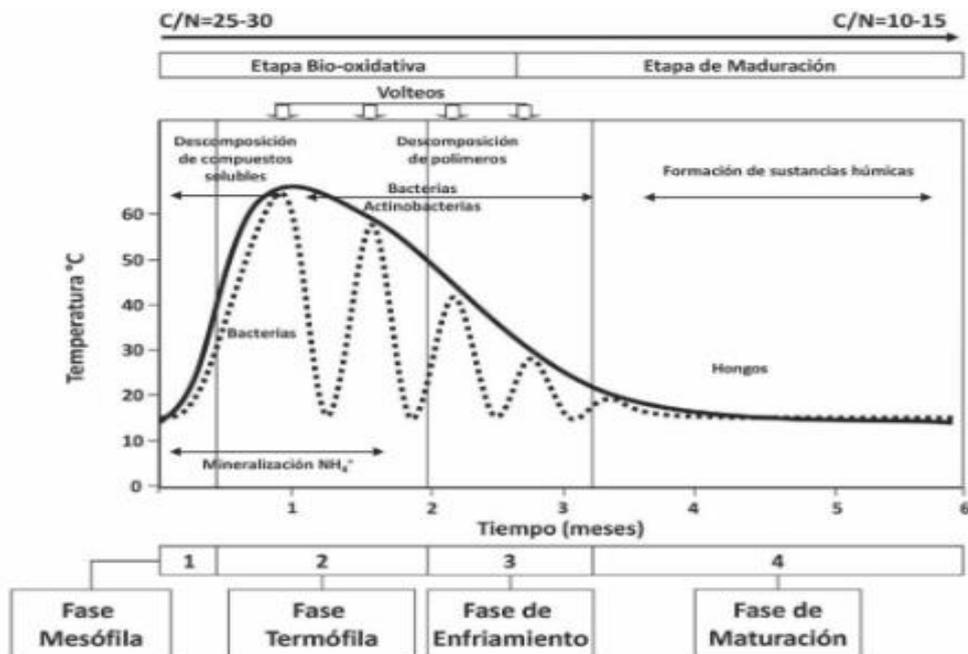


Figura 2-1: Evolución de la temperatura y fases del proceso de compostaje. La línea punteada indica la evolución de la temperatura en un proceso sometido a operaciones de volteo
Realizado por: (Pascual et al. 2015).

1.3.8.3. Control del proceso

El proceso debe tener un control para garantizar que cumpla con los objetivos del tratamiento que son principalmente obtener un producto estable similar a un abono orgánico e inactivar o matar los microorganismos patógenos (CONAGUA, 2019, p. 218).

Tabla 3-1: Parámetros para el control del proceso de compostaje

Parámetros	Criterio de control	Muestreo	
		Frecuencia	Puntos
Humedad	Mezcla inicial: 60 % Durante el proceso de 40-60 %	Semanal	Mezcla inicial, al inicio del proceso, si hay cambios en los materiales, cambios de estación que afecten el contenido de humedad (calor, lluvias, etc). Mezcla en compostaje, durante el proceso.
Temperatura	55 °C por tres días consecutivos en la etapa termoflica	Diariamente	Mezcla en compostaje y curado, para asegurar la estabilización y la muerte o inactivación de patógenos
Oxígeno	5-15 % de oxígeno en la mezcla	Opcional	Mezcla, en la etapa termoflica para asegurar condiciones aerobias
Supervivencia de patógenos, contenido de metales pesados, tóxicos orgánicos, compuestos emergentes	De acuerdo a normas establecidas	Periódicamente	En el lodo y la composta, al inicio y final del proceso. Si hay cambios en los materiales acondicionadores. Periódicamente en la compost que va a ser utilizada o comercializada
Olor	No debe generar olor	Diariamente	Mezcla en compostaje. Indica falta de oxígeno, falta de porosidad o exceso de humedad en la mezcla
Operación del proceso	De acuerdo al diseño	Diariamente	Mezcla en compostaje. Revisión del funcionamiento de ventiladores, termopares, timers, etc.
Estabilización del proceso	De acuerdo a normas	Periódicamente	Composta. Caracterización del producto y para control de calidad.

Fuente: (CONAGUA, 2015).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

- *Humedad*

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55 %, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado. Si la humedad baja de 45 %, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es >60 %, el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación (Román, Martínez y Pandoja, 2013, p. 27).

- *Temperatura*

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65 °C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de

maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Román, Martínez y Pandoja, 2013, p. 29).

- *Oxígeno*

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico o metano en exceso (Román, Martínez y Pandoja, 2013, p. 30).

- *Tamaño de partícula*

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm. La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula (Román, Martínez y Pandoja, 2013, p. 32).

Tabla 4-1: Parámetros ideales en el proceso de compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal compost maduro (3-6 meses)
C/N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50 % - 60 %	45 %-55 %	30 % - 40 %
Concentración de oxígeno	~10 %	~10 %	~10 %
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60 °C	45 °C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	250-400 kg/m ³	250-400 kg/m ³
Materia orgánica (base seca)	50 %-70 %	>20 %	>20 %
Nitrógeno total (base seca)	2,5-3 %	1-2 %	~1 %

Fuente: (Román, Martínez y Pandoja, 2013).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

1.3.8.4. Calidad del compost

Se mide por el contenido de materia orgánica, contenido de nutrimentos, el pH, el contenido de sales, las bases intercambiables y la relación de adsorción de sodio (RAS). Desde el punto de vista de protección ambiental, la calidad del compost la definen otros parámetros como son: el contenido de metales pesados, los compuestos orgánicos tóxicos (compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, compuestos orgánicos polinucleares, compuestos orgánicos policlorados (PCVs)), los compuestos emergentes y el contenido de microorganismos patógenos (CONAGUA, 2015, p. 222).

1.3.8.5. Subproductos

Durante el proceso de compostaje se generan olores producto de la degradación de la materia orgánica, los cuales en su mayoría pueden controlarse con una adecuada operación del sistema de ventilación y una buena operación y mantenimiento en la planta. Cuando las instalaciones están localizadas dentro de áreas urbanas se requieren dispositivos adicionales para el control de olor. Entre las tecnologías más utilizadas se destacan: los lavadores químicos, los filtros de carbón activado y los biofiltros. Algunas instalaciones de compostaje han tenido éxito en el uso de biofiltros y empiezan a documentarse en la literatura, donde se recomienda por su fácil manejo, costo efectivo de operación y alta eficiencia de remoción (CONAGUA, 2015, p. 222).

1.3.9. Caracterización del compost final

1.3.9.1. Parámetros físico-químicos

- *pH*

El pH depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2 (Román, Martínez y Pandoja, 2013, p. 31).

Tabla 5-1: Parámetros de pH óptimos

pH	Causas asociadas	Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C/N.
	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	
>8,5	Exceso de nitrógeno	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)
	Deficiente relación C/N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizando el medio.	

Fuente: (Román, Martínez y Pandoja, 2013).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

- *Conductividad eléctrica*

La conductividad eléctrica es un indicador de la presencia de sales solubles en el compost y puede dar información sobre el origen del mismo, los altos niveles de sales pueden repercutir sobre la germinación de semillas y en el desarrollo general del cultivo, dependiendo de la tolerancia de los cultivos y del tipo de suelo a ser fertilizado. Para el caso de sustratos para cultivos debe manejarse un nivel de salinidad bajo (Soliva, 2011, p. 13).

- *Materia orgánica*

A lo largo del proceso el contenido en materia orgánica total debe ir disminuyendo, en función del desarrollo del proceso, pero también del tipo de material orgánico y de su degradabilidad. Aunque algunos autores y la experiencia indica que el contenido en MO puede informar del avance del proceso, incluso de la madurez del compost, siempre debe valorarse con precaución porque depende mucho del punto de partida (Soliva, 2011, p. 15).

El compost u otros materiales orgánicos con pretensión de ser aplicados al suelo deben presentar contenidos destacables de materia orgánica (se aconseja superiores a 40 % sms) pero, paralelamente un elevado porcentaje de ésta debe ser resistente a la descomposición. El contenido en materia orgánica de un compost es importante en caso de aplicación en el suelo ya que: incidirá, de forma global, sobre todas las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas); y favorecerá, al mismo tiempo, los ciclos geoquímicos (Soliva, 2011, p. 15).

1.3.9.2. Parámetros químicos

- *Relación carbono/nitrógeno (C/N)*

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la

relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esto se considera que el intervalo de C/N óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Márquez, Díaz y Cabrera 2012, p. 6).

Tabla 6-1: Parámetros relación C/N

pH	Causas asociadas	Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C/N
	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	
<15:1	Exceso de Nitrógeno	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)
	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	

Fuente: (Román, Martínez y Pandoja, 2013).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

- *Metales pesados*

Si un compost contiene metales pesados, aunque una buena parte no sea asimilable por la planta rápidamente, quedarán acumulados en el suelo y cuando varíen las condiciones pueden pasar a disposición de las plantas o y contaminar los acuíferos. Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces por lo que es altamente riesgosa su utilización en cultivos. Por estos motivos se considera necesario conocer el contenido total de metales que puede determinarse a partir de la disolución ácida de las cenizas del compost o por digestión húmeda (medio ácido y oxidante) de la muestra (Soliva, 2011, p. 16).

- *Macronutrientes y micronutrientes*

Al considerar el compost como un abono es importante mencionar que la disponibilidad de nutrimentos (capacidad de ofrecer nutrimentos en forma asimilable para las plantas), va a variar mucho con el tipo de compost, dependiendo de la materia prima utilizada y el grado de madurez del producto final. La importancia del compost como materia orgánica, está dada por la formación de humus que se considera esencial para el mejoramiento de las propiedades de los suelos, siendo estos beneficiados en las labores de maquinaria, aireación de las raíces, solubilidad de elementos, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el aporte de micronutrientes, son factores que se combinan para obtener mayores rendimientos de los cultivos y mantener la fertilidad de los suelos (Rojas y Zeledón, 2007, p. 17).

- *Iones*

Los iones contribuyen a la salinidad del proceso de compostaje. La acumulación de estos al ser absorbidos por las plantas crea toxicidad afectando a la fotosíntesis, procesos fisiológicos y alterando el transporte de mineral y la absorción. Los más importantes son los cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos (Rojas y Zeledón, 2007, p. 18).

1.3.9.3. Parámetros biológicos

- *Índice de germinación*

Es una prueba utilizada para evaluar la estabilidad y madurez del abono compostado, indica la presencia de sustancias fitotóxicas y se considera internacionalmente como uno de los ensayos para determinar la madurez de un compost (Rojas y Zeledón, 2007, p. 18).

1.4. Base Legal

1.4.1. Constitución de la República del Ecuador

“Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p. 14).

“Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p.25).

“Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p.36).

“Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales

no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado” ” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p. 36).

“Art. 264.- Los GADs municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: # 4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” ” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p. 131).

“Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: 2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional” ” (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2011, p. 188).

1.4.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

“Art. 4.- Fines de los gobiernos autónomos descentralizados. - Dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales son fines de los gobiernos autónomos descentralizados: d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable;” (COOTAD, 2019, p. 8).

“Art. 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley” (COOTAD, 2019, p. 58).

“Art. 137.- Los servicios públicos de saneamiento y abastecimiento de agua potable serán prestados en la forma prevista en la Constitución y la ley. Se fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y lo comunitario. Cuando para la prestación del servicio público de agua potable, el recurso proviniere de fuente hídrica ubicada en otra circunscripción territorial cantonal o provincial, se establecerán con los gobiernos autónomos correspondientes convenios de mutuo acuerdo en los que se considere un retorno económico establecido técnicamente. Las competencias de prestación de servicios públicos de alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, y actividades de saneamiento ambiental, en todas sus fases, las ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas. Cuando estos servicios se presten en las parroquias rurales se deberá coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales” (COOTAD, 2019, p. 60).

“Art. 431.- De la gestión integral del manejo ambiental. - Los GADs de manera concurrente

establecerán las normas para la gestión integral del ambiente y de los desechos contaminantes que comprende la prevención, control y sanción de actividades que afecten al mismo. Si se produjeren actividades contaminantes por parte de actores públicos o privados, el gobierno autónomo descentralizado impondrá los correctivos y sanciones a los infractores sin perjuicio de la responsabilidad civil y penal a que hubiere lugar y pondrán en conocimiento de la autoridad competente el particular, a fin de exigir el derecho de la naturaleza contemplado en la Constitución” (COOTAD, 2019, p. 118).

1.4.3. Acuerdo Ministerial 097-A

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, se somete a las disposiciones contenidas en esos instrumentos y es de aplicación obligatoria por parte de toda persona natural o jurídica, pública o privada, que desarrolle actividades que tengan potencial de afectación a la calidad ambiental del suelo en todo el territorio nacional. Los límites de descargas de aguas al igual que la calidad inicial del suelo presentados, constituirá el valor referencial respecto al cual se evaluará una posible contaminación de fuentes de agua dulce y suelo, en función de los parámetros señalados a continuación (MAE, 2015, p. 21).

Tabla 7-1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite permisible máximo
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Zinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F ⁻	mg/l	5.0
Fósforo total	P	mg/l	10.0

Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno total Kjendahl	N	mg/l	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0.5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

Fuente: (MAE, 2015, p. 22).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

1.4.4. Comisión Europea

Los estados miembros tienen la obligación legal de optimizar el tratamiento de los biorresiduos en función de sus condiciones específicas; en el cual explica el sistema de registro o certificación de compost, por lo general, la normativa correspondiente exige que el compost se registre o certifique antes de que pueda ser utilizado o comercializados (Saveyn y Eder, 2014, p. 54).

Existen tres bases legales principales bajo las cuales se certifica o registra el compost:

- La legislación sobre fertilizantes, con y sin disposiciones específicas sobre compost.
- La legislación sobre residuos, con ordenanzas específicas sobre compost o biorresiduos o bajo normas generales sobre residuos; procedimientos de licencia de tratamiento.
- La legislación de protección del suelo, con requisitos mínimos para los materiales derivados de residuos, lodos y compost que se esparcirán en la tierra.

Los estándares basados en criterios que son implementados por esquemas de aseguramiento de la calidad son otra categoría, sin estatus legal directo. Las regulaciones y estándares para el uso de compost varían considerablemente de un país a otro (Saveyn y Eder, 2014, p. 59).

Las reglas de uso incluyen regulaciones directas como restricciones de dosificación (cantidad admitida de compost por hectárea) y reglas indirectas como “Protocolos de buenas prácticas agrícolas” (GAP) y requisitos de cumplimiento cruzado en la aplicación agrícola; estos últimos se refieren principalmente a la fertilización, que debe ejecutarse considerando los nutrientes del

suelo y del compost, así como la absorción por la planta y el manejo de la materia orgánica con el objetivo de mantener los suelos en condiciones adecuadas (Saveyn y Eder, 2014, p. 60).

Los rangos de restricciones para las cantidades de compost (sobre una base de materia seca por hectárea) o nutrientes vegetales a aplicar se pueden resumir de la siguiente manera:

Tabla 8-1: Rangos de restricciones para las cantidades de compost

Cantidad de compost (Tn/ha/año)	Agricultura/regular	3 (pastos) – 15 (cultivables)
	No alimentaria/regular	6,6–15
	No alimentaria/una vez	100–400
Cantidad de N (kg/ha/año)	Agricultura/regular	150–250
Cantidad de P₂O₅ (kg/ha/año)	Agricultura/regular	22–80
	Apartando tierra	20

Fuente (Saveyn y Eder, 2014, p. 140).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Los criterios de calidad del producto digerado o compost, explica que durante la consulta de las partes interesadas del GTT (Grupo de Trabajo Técnico), se recibieron menos comentarios sobre los requisitos de calidad del compost. Sin embargo, aquellas partes interesadas que brindan información sobre el compost, generalmente, tenía una actitud positiva hacia el establecimiento de criterios de calidad de fin de residuos para el compost, compatible con los estándares existentes, como el PAS 110 (Producción de compost anaeróbico de calidad) del Reino Unido, el SPCR 120 (Reglas de certificación para biofertilizantes) de Suecia o el RAL GZ 245 (Criterios de calidad y directrices de calidad/producto de fermentación sólido/líquido) Alemán, llevando al siguiente conjunto de criterios propuestos para el compost (Saveyn y Eder, 2014, p. 140).

Tabla 9-1: Parámetros a considerar en compost maduro

Parámetros	Valor
Contenido minio de materia orgánica	15 % (m.s)
Contenido de patógenos	Sin Salmonella sp. en 25 g de muestra 1000 CFU/g fresco masa para E. Coli
Metal pesado	(mg/Kg)
Cd	1.5
Cr	100
Cu	200
Hg	1
N	50
Pb	120
Zn	600

Fuente: (Saveyn y Eder, 2014, p. 142).

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: Cd: Cadmio, Cu: Cobre, Cr: Cromo, Hg: Mercurio, N: Nitrógeno, Pb: Plomo, Zn: Zinc

1.4.5. EPA 2001

La normativa aplicará en su apéndice al resumen de los límites de aplicación del suelo para los lodos de depuradora (biosólidos):

Tabla 10-1: Reglamentos sobre aplicación de los lodos de depuradora

Contaminante	Concentración máxima (mg/kg)
Arsénico	75
Cadmio	85
Cobre	4300
Plomo	840
Mercurio	57
Molibdeno ²⁷	75
Níquel	420
Selenio	100
Zinc	7500
Se aplica a:	Todos los biosólidos que se aplican en la tierra

Fuente: (EPA 2001, p. 68).

Realizado por: Chuquizala Diana & Sánchez Brayan, 2022.

De la misma manera la normativa aplicará al compost producido en plantas de compostaje establecidas, en faenas in situ y en plantas móviles siempre y cuando el producto se pretenda comercializar bajo el nombre de compost (EPA. 2001, p. 93).

Tabla 11-1: Parámetros óptimos para compost final

Parámetro	Valor (rango preferido)
% MO	50 – 60
Relación C/NT (%)	10-25
pH	6,0 - 7,5
CE (dS/m)	5 dS/m o menores
% N (g/Kg)	> 10
% P (g/Kg)	> 10
% K	-
% Capacidad de retención de agua	> 100
Densidad a Granel	800 – 1000 lbs/yd ³
Contenido de humedad	40 – 50 %

Fuente: (EPA, 2001).

Realizado por: Chuquizala Diana & Sánchez Brayan, 2022.

Nota: % MO: Porcentaje de Materia Orgánica, C: Carbono, NT: Nitrógeno Total, % N: Porcentaje de Nitrógeno, % P: Porcentaje de Fosforo, %K: Porcentaje de Potasio

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño experimental

2.1.1. *Tipo y diseño de la investigación*

La presente investigación inició con una caracterización de agua y lodos residuales de la Planta de Tratamiento de aguas residuales “Barrios Pifo”, tomando en cuenta la disponibilidad y cantidad de los mismos. Se eligió utilizar residuos de cebada como material estructurante, debido a la alta humedad que presentaban los lodos.

Las pilas de compostaje se realizaron con los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Barrios Pifo”, ubicada en la parroquia Pifo del Distrito Metropolitano de Quito. Se realizaron 2 pilas de compost utilizando el sistema windrow, para lo cual se determinó la cantidad de lodo y de material estructurante a utilizar. Se estableció un diseño experimental completamente al azar. A lo largo de la investigación se realizaron cierta cantidad de volteos, los cuales serán detallados más adelante, para la facilidad del manejo de datos en los análisis se establecieron las siguientes codificaciones.

2.1.2. *Unidad de análisis*

La unidad experimental estará formada por 2 pilas de compostaje de 1000 Kg.

2.1.3. *Tamaño de la muestra*

No se calculó el tamaño de la muestra, debido a que se trabajó con todas las muestras recolectadas durante el desarrollo del experimento. Considerando un total de 4 muestras de agua, 2 muestras de lodos y 13 muestras durante el proceso de caracterización y compostaje. Todas las muestras fueron tomadas por triplicado para los análisis de laboratorio.

2.1.4. *Selección de la muestra*

El método de muestreo del presente trabajo es de tipo no probabilístico, ya que la recolección de las muestras de agua residual se realizará mediante muestreo simple en la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, mientras que las muestras de lodos residuales y de compost se obtendrán mediante el método del cuarteo hasta obtener un peso aproximado de 1 Kg,

para asegurar la representatividad de las muestras.

2.2. Área de estudio

Para la presente investigación se escogió una PTAR, ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito (Parroquia Pifo), cuyas coordenadas se indican a continuación:

Tabla 1-2: Ubicación de la Plantas de tratamiento de aguas residuales

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	Coordenadas (UTM WGS 84)	
	X	Y
Barrios Pifo	798942	9971886

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

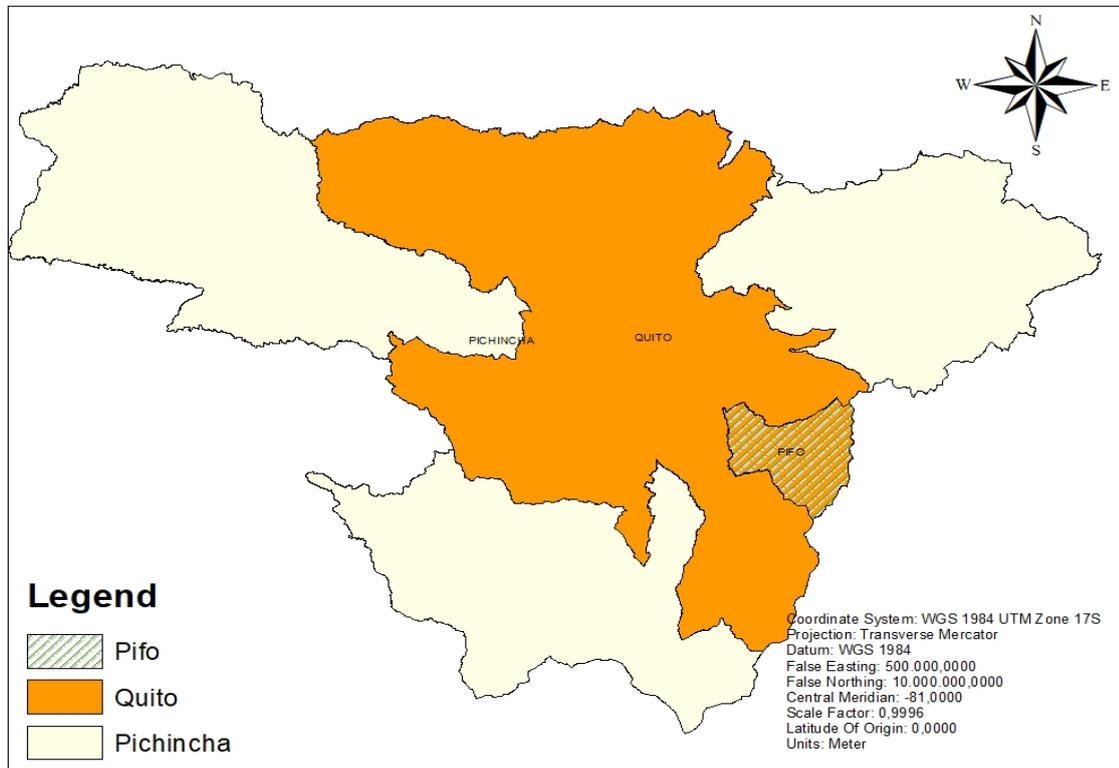


Figura 1-2: Mapa de la provincia de Pichincha y ubicación de la parroquia Pifo.

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

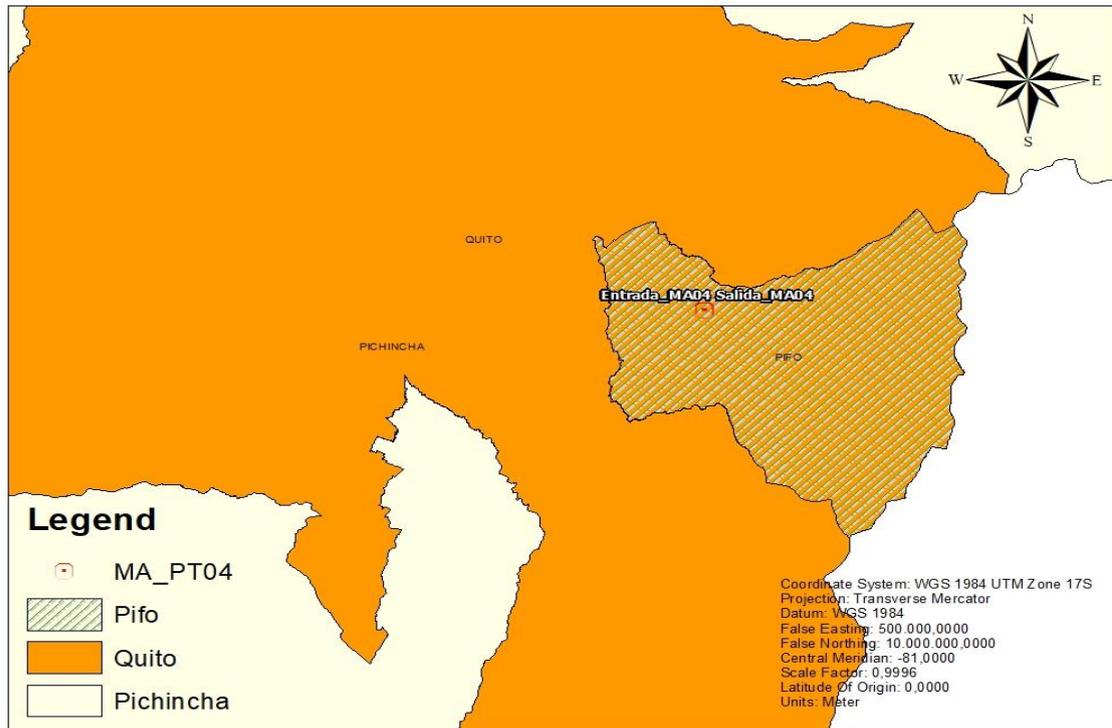


Figura 2-2: Mapa de la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Barrios Pifo”

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

El proceso de compostaje se llevó a cabo en el campus Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), perteneciente a la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), ubicado en el ubérrimo valle de los Chillos en la Hacienda el Prado sector Selva Alegre, Sangolquí.

Cabe destacar que, todos los análisis físicos, físicos-químicos y biológicos, tanto de caracterización, como de control de calidad durante el proceso de compostaje se realizaron en los laboratorios de Calidad del Agua y de Impactos y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias, perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH); ubicada en la Panamericana Sur Km 1 ½, Riobamba.

2.3. Toma de muestras

2.3.1. Muestras de aguas residuales

Las muestras de aguas se tomaron en intervalos de 3 meses, obteniendo así 4 muestras en 2 muestreos que se realizaron, en la Planta de tratamiento de aguas “Barrios Pifo”, los muestreos se realizaron considerando las siguientes fechas.

Tabla 2-2: Fechas de los muestreos realizados

Fecha de muestreo	Número de muestras
20/08/2021	2 muestras
25/11/2021	2 muestras
Total	4 muestras

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.3.1.1. Protocolo de muestreo

- *Materiales*

- a. Equipo de protección personal
- b. Toallas de papel absorbente
- c. Rotulador
- d. Cuerdas
- e. Galón disther de plástico (con trapas)
- f. Botellas ámbar 250 ml
- g. Brazo telescópico muestreador
- h. Balde
- i. Recipiente plástico con medidas
- j. Tubo plástico para la homogenización de la muestra
- k. Caja térmica (cooler) T-19 capacidad de 19 litros

- *Equipos y reactivos*

- a. Medidor multiparámetro Hach
- b. GPS
- c. Agua destilada
- d. Preservantes (ácido sulfúrico H_2SO_4) (hielo)

- *Procedimiento*

1. Organizar y rotular los galones disther y las botellas ámbar con los códigos pertinentes.
2. Identificar puntos de entrada y salida de agua.
3. Marcar los puntos de entrada y salida de agua con el GPS.
4. Colocar el balde bajo la descarga de agua de entrada de la planta de tratamiento, de manera que reciba todo el flujo de agua, calculando la cantidad de agua requerida para las muestras

- (aproximadamente 10 L), en caso de que la descarga de agua sea de difícil acceso usar el brazo telescópico muestreador y repetir el proceso hasta obtener el volumen requerido.
5. Medir parámetros de campo con el medidor multiparámetros introduciendo los electrodos del pHmetro, conductímetro, oxígeno disuelto y temperatura, para registrar valores en campo (repetir el valor por triplicado).
 6. Lavar con abundante agua los electrodos para su conservación.
 7. Una vez medido los parámetros en campo, homogenizar la muestra y proceder a llenar los galones disther.
 8. Lavar 2 o 3 veces el interior del galón disther para eliminar cualquier impureza que podría existir.
 9. Llenar el galón a su máxima capacidad evitando la formación de burbujas que pueden dañar la muestra.
 10. Colocar la tapa del galón a presión y cerrarla, cerciorándose que no exista fugas.
 11. Limpiar el exterior del galón disther y guardarlo en la caja térmica (cooler).
 12. Para la conservación de la muestra en la medición de DQO usar la botella ámbar de 250 ml.
 13. Lavarla 2 o 3 veces por el interior para eliminar cualquier impureza que podría existir.
 14. Llenarla hasta su máxima capacidad y desechar un poco de la muestra.
 15. Colocar el reactivo H_2SO_4 hasta obtener un pH inferior a 2,0 y tapan la botella dejando una pequeña burbuja de aire.
 16. Limpiar el exterior de la botella y guardarla en la caja térmica (cooler).
 17. Repetir el proceso para la descarga de agua de salida en la planta de tratamiento.
 18. Colocar todas las muestras en el cooler, verificando su estabilidad y colocar hielo para preservar las muestras.
 19. Sellar la tapa del cooler con cinta adhesiva.

2.3.2. Muestras de lodos residuales

Las muestras de lodos se tomaron en intervalos de 3 meses, obteniendo así 2 muestras de lodos en 2 muestreos que se realizaron, en la Planta de tratamiento de aguas residuales “Barrios Pifo”, los muestreos se realizaron considerando las siguientes fechas.

Tabla 3-2: Fechas de los muestreos realizados

Fecha de muestreo	Número de muestras
20/08/2021	1 muestras
25/11/2021	1 muestras
Total	2 muestras

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.3.2.1. Protocolo de muestreo

- *Materiales*

- a. Equipo de protección personal
- b. Toalla de papel absorbente
- c. Rotulador
- d. Cuerdas
- e. Fundas Zip log grandes (26,8 cm x 27,3 cm)
- f. Brazo telescópico muestreador
- g. Balde
- h. Tubo plástico para la homogenización de la muestra
- i. Caja térmica (cooler) T-19 capacidad de 19 litros

- *Equipos y reactivos*

- a. GPS
- b. Agua destilada

- *Procedimiento*

1. Organizar y rotular las fundas Zip log con los códigos pertinentes.
2. Identificar el punto de almacenamiento de los lodos residuales.
3. Marcar el punto de almacenamiento con el GPS.
4. Identificar la composición del lodo (seco, parcialmente seco o húmedo).
5. Usar el brazo telescópico muestreador para alcanzar las zonas profundas de las bóvedas de recolección de lodos.
6. Tomar las muestras de lodos utilizando el método del cuarteo realizando un muestreo por diagonales, priorizando los extremos de las cámaras y el centro para obtener una muestra significativa de aproximadamente 2 Kg.
7. Homogenizar la muestra y proceder a llenar las fundas Zip log.
8. Cerrar herméticamente las fundas a su máxima capacidad evitando la formación de burbujas que pueden dañar la muestra.
9. Limpiar el exterior de las fundas Zip log y guardarlas en el cooler.
10. Colocar todas las muestras en el cooler, verificando que estén bien selladas y colocar hielo para preservar las muestras.
11. Sellar la tapa del cooler con cinta adhesiva.

2.4. Pilas de compostaje

2.4.1. Preparación de residuos orgánicos

Como se mencionó anteriormente, debido a la humedad y procedencia de los lodos, se utilizó un material estructurante para la elaboración de las pilas, en este caso el residuo de cebada. Este residuo se recolectó en el Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), por pacas siendo más fácil su transporte; los lodos residuales, se los recolectaron en sacos de lona en la planta de tratamiento de aguas residuales “Barrios Pifo” y se procedieron a transportar al IASA.

Una vez los residuos se encontraban listos y pesados se determinó el tamaño de los mismos, si estos eran de gran tamaño se separaban con la ayuda del rastrillo y las manos. Ya separados, se utilizó la picadora para reducir el tamaño facilitar la y manipulación.

2.4.2. Elaboración de pilas de compostaje

Se elaboraron de 2 pilas de compostaje, las cuales fueron elaboradas manualmente con la ayuda de carretillas, palas, rastrillos y trinchas para agricultura; se utilizó una mezcla en diferentes proporciones de residuos de cebada y lodos residuales. Esto debido a la relación C/N, y al contenido de humedad, ya que gracias a la caracterización inicial de los residuos se realizaron los siguientes cálculos:

Tabla 4-2: Cálculos de porcentajes de residuos para la pila 1

Residuos orgánicos	%	Peso fresco (Kg)	% humedad	Peso seco (Kg)	% C	% N	Comp C	Comp N	C/N
Lodos PTAR	35	350,00	52,08	167,72	23,92	3,82	40,12	6,41	6,26
Residuo de cebada	65	650,00	24,00	494,00	53,74	0,51	265,48	2,52	105,37
Total	100	1000,00		661,72			305,59	8,93	34,24

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Tabla 5-2: Cálculos de porcentajes para la pila 2

Residuos orgánicos	%	Peso fresco (Kg)	% humedad	Peso seco (Kg)	% C	% N	Comp C	Comp N	C/N
Lodos PTAR	45	450,00	52,08	215,64	23,92	3,82	51,58	8,24	6,26
Residuo de cebada	55	550,00	24,00	418,00	53,74	0,51	224,63	2,13	105,37
Total	100	1000,00		633,64			276,21	10,37	26,64

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Tabla 6-2: Cantidad de residuos iniciales utilizados en las pilas de compostaje

Residuos orgánicos	Pila de compost 1 (peso fresco Kg)	Pila de compost 3 (peso fresco Kg)
Lodos PTAR	350	450
Residuo de cebada	650	550
Total	1000	1000

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

El proceso de compostaje de la pila 1 inició el día 7 de enero del 2022 y terminó el día 31 de mayo del mismo año, teniendo una duración de 145 días; se realizaron 3 volteos: el 15 de febrero, el 8 de marzo, y el 31 de marzo según indicaciones, entrando así en la etapa de maduración el 31 de marzo con una duración de 62 días.

El proceso de compostaje de la pila 2 inició el día 20 de enero del 2022 y terminó el día 3 de julio del mismo año, teniendo una duración de 163 días; se realizaron 4 volteos: el 15 de febrero, 8 de marzo, 31 de marzo y 4 de mayo, entrando así en etapa de maduración el día 4 de mayo con una duración de 61 días.

2.4.2.1. Protocolo para la elaboración de las pilas

- *Materiales*

- a. Equipo de protección personal
- b. Tálamo de cebada
- c. Residuos de jardín
- d. Lodos residuales
- e. Caretillas
- f. Palas
- g. Rastrillos
- h. Trinchas para agricultura
- i. Manguera
- j. Cámara fotográfica

- *Equipos*

- a. Triturador, picador agrícola
- b. Medidor de humedad para pilas de compost
- c. Termómetro para pilas de compost

- d. pHmetro para pilas de compost
- e. Termohigrómetro

- Procedimiento

1. Adaptar el lugar donde se elabora la pila de compostaje, colocando plástico negro en la parte de contacto con el suelo.
2. Recolectar de residuos para la elaboración de pilas de compostaje (tálamo de cebada, residuos de jardín, lodos residuales).
3. Pesar las cantidades estipuladas para cada pila de compost.
4. Triturar de residuos para mayor facilidad al momento de elaborar las pilas de compost.
5. Mezclar equilibradamente los residuos (tálamo de cebada + lodo residual, residuos de jardín + lodo residual).
6. Conforme se inicie la mezcla mojar la pila con una manguera para que no existan lugares sin humedad.
7. Homogenizar los residuos para la elaboración de pilas de compostaje.
8. Realizar la pila con dimensiones de 2 metros de alto por 1,5 metros de ancho y sin límite de largo, procurando que la pila tenga forma piramidal y no trapezoidal.
9. Controlar diariamente los parámetros de temperatura de la pila, humedad de la pila, pH de la pila y temperatura y humedad del ambiente.
10. Humectar la pila según se crea conveniente.
11. Una vez termine el proceso se guarda en sacos de lona en un lugar seco.

2.4.3. Control de parámetros en el desarrollo del proceso de compostaje

Se realizó el control de los parámetros de temperatura, humedad y pH de cada una de las pilas, con equipos analíticos desde el inicio del proceso hasta el último día la etapa de maduración. A la par se controlaron los parámetros de la humedad ambiental y temperatura ambiental con la ayuda de un termohigrómetro.

2.4.3.1. Procedimiento para el control de parámetros

1. Identificar 5 puntos de referencia que se encuentren separados a una distancia considerable que abarque la totalidad de la pila.
2. Clavar cada equipo (medidor de humedad para pilas de compost, termómetro para pilas de compost y pHmetro) firmemente apuntando hacia el centro de la pila y esperar 3 minutos para su estabilización.

3. Una vez estabilizado los equipos registrar los valores que se detallan en los mismos.
4. Realizar el mismo proceso en cada punto de la pila que se identificó al inicio.
5. Utilizar un termohigrómetro en un espacio amplio para registrar valores de temperatura y humedad ambiental.
6. Registrar los valores que arroja el termohigrómetro.
7. Realizar el proceso a diario calculando una hora específica del día para que no existan fallos.

2.4.4. Toma de muestras del proceso de compostaje

La toma de muestras se realizó al inicio, después de cada volteo y al final de proceso. Para realizar el muestreo se recurrió al método del cuarteo. 1. En total se realizaron 11 muestreos dando lugar al mismo número de muestras a analizar, los muestreos se realizaron considerando las siguientes fechas.

Tabla 7-2: Fechas de los muestreos realizados

Fecha de muestreo	Número de pila	Número de muestras
07/01/2022	Pila 1	1 muestra
25/01/2022	Pila 2	1 muestra
15/02/2022	Pila 1 y 2	2 muestras
08/03/2022	Pila 1 y 2	2 muestras
31/03/2022	Pila 1 y 2	2 muestras
04/05/2022	Pila 2	1 muestras
31/05/2022	Pila 1	1 muestra
03/07/2022	Pila 2	1 muestras
Total		11 muestras

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.4.4.1. Protocolo para la toma de muestras

- *Materiales*
 - a. Equipo de protección personal
 - b. Palas
 - c. Rastrillos
 - d. Fundas Zip log
 - e. Cámara fotográfica

- *Equipos*
 - a. Medidor de humedad para pilas de compost
 - b. Termómetro para pilas de compost
 - c. pHmetro para pilas de compost
 - d. Termohigrómetro

- *Procedimiento*

1. Elegir 5 puntos aleatorios de la pila.
2. En cada punto tomas 3 submuestras aleatoriamente a diferente profundidad.
3. Homogenizar la muestra, de preferencia un costal.
4. Tomar una muestra final de 2 Kg y almacenar en una funda Zip log.

2.5. Protocolos de análisis de laboratorio de aguas residuales

2.5.1. Parámetros físico químicos

2.5.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

- *Reactivos*
 - a. Soluciones tampón estándar de pH conocido.

- *Análisis de muestra*

1. Calibrar el sistema de electrodos con soluciones tampón estándar de pH conocido. Debido a que las soluciones amortiguadoras pueden deteriorarse como resultado del crecimiento de moho o contaminación, utilícelas frescas.
2. Establecer el equilibrio entre los electrodos y la muestra agitando la muestra para asegurar su homogeneidad, agitar suavemente para minimizar el arrastre de dióxido de carbono.
3. Sumergir los electrodos de pH y temperatura en una porción de la muestra y leer el pH.
4. Lavar los electrodos con agua destilada y secar con un paño.
5. Sumergir en una nueva porción de la misma muestra y leer el pH nuevamente.
6. Reportar el pH medido.

2.5.1.2. Conductividad eléctrica

- *Reactivos*

a. Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0,001M.

- *Análisis de muestra*

1. Calibrar el electrodo con la solución estándar de KCl.
2. Agitar la muestra para asegurar su homogeneidad.
3. Sumergir los electrodos de conductividad y temperatura en una porción de la muestra y leer la conductividad.
4. Lavar los electrodos con agua destilada y secar con un paño.
5. Sumergir en una nueva porción de la misma muestra y leer el pH nuevamente.
6. Reportar la conductividad medida, verificando si las unidades en la pantalla aparecen como $\mu\text{S}/\text{cm}$ o mS/cm .

2.5.1.3. Oxígeno disuelto

- *Reactivos*

- a. **Solución de sulfato manganoso:** Disuelva 480 g de sulfato de manganeso tetrahidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 400 g de sulfato de manganeso dihidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o 364 g de sulfato de manganeso monohidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en agua destilada, filtre y diluya en 1L.
- b. **Reactivo de álcali-yoduro-azida:** Disuelva 500 g de hidróxido de sodio (NaOH) o 700 g de hidróxido de potasio (KOH) y 135 g de yoduro de sodio (NaI) o 150 g de (KI) en agua destilada y diluya a 1 L. Agregar 10 g de azida de sodio (NaN_3) disuelto en 40 ml de agua destilada.
- c. Ácido sulfúrico concentrado.
- d. **Almidón:** Use una solución acuosa o mezclas de polvo de almidón soluble. Para preparar una solución acuosa, disuelva 2 g de almidón soluble de laboratorio y 0,2 g de ácido salicílico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) (conservante) en 100 ml de agua destilada caliente.
- e. **Titulador estándar de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$):** Disolver 12,4 g de tiosulfato de sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y diluir hasta 1000 ml.

- *Análisis de muestra*

1. A la muestra recolectada en una botella Winkler agregue 1 ml de solución de $MnSO_4$. Si las pipetas se sumergen en la muestra, enjuáguelas antes de devolverlas a las botellas de reactivo. De lo contrario, mantenga las puntas de pipeta justo por encima de la superficie del líquido cuando agregue reactivos.
2. Agregar 1 ml de reactivo álcali-yoduro-azida.
3. Tapar con cuidado para excluir las burbujas de aire y mezcle invirtiendo la botella varias veces.
4. Cuando el precipitado se haya asentado lo suficiente (hasta aproximadamente la mitad del volumen de la botella) para dejar un sobrenadante transparente sobre el flóculo de hidróxido de manganeso, agregue 1,0 ml de H_2SO_4 concentrado.
5. Vuelva a tapar y mezcle invirtiendo varias veces hasta que el precipitado se disuelva por completo.
6. Titular un volumen correspondiente a 200 ml de muestra original después de la corrección por pérdida de muestra por desplazamiento con reactivos.
7. Titular con una solución 0,025 M de $Na_2S_2O_3$ hasta obtener un color pajizo pálido.
8. Agregar unas gotas de solución de almidón y continúe la titulación hasta la primera desaparición del color azul.
9. Anotar los ml de titulante que se utilizó.

- *Cálculos*

$$1 \text{ mL } Na_2S_2O_3 \text{ } 0.025M = 1 \text{ mg OD/L}$$

2.5.1.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

- *Materiales*

- a. Botellas para DBO
- b. Bara de agitación

- *Reactivos*

- a. Bolsas de solución tampón de nutrientes para DBO (HACH).

b. Hidróxido de potasio (KOH)

- *Análisis de muestra*

1. Homogeneizar bien la muestra batiéndola.
2. Mida un volumen de 157 ml de muestra para establecer un rango de DBO en el equipo de 0-400 mg/L
3. Transferir el volumen de muestra a una botella para DBO.
4. Agregar el contenido de 1 sobre con solución tampón de nutrientes.
5. Colocar una barra agitadora dentro de la botella.
6. Poner un tapón hermético en el cuello de la botella.
7. Agregar 2 comprimidos de KOH en el tapón hermético.
8. Colocar las botellas en el equipo de digestión para DBO.
9. Iniciar cada botella en el equipo, asegurarse de que las barras colocadas empiecen a agitar la muestra.
10. Dejar las botellas en el equipo durante 5 días, después de estos días anotar los resultados obtenidos.

2.5.1.5. Demanda química de oxígeno (DBO)

- *Reactivos*

- a.** Tubos de reactivo de digestión DQO (HR 0-1500 mg/L de DQO).

- *Análisis de muestra*

1. Homogeneizar 100 ml de muestra durante 30 segundos en una mezcladora.
2. Conectar el reactor de DQO. Precalentar a 160°C. Colocar el escudo plástico enfrente del reactor.
3. Extraer la tapa de un tubo de reactivo para digestión de DQO para el rango apropiado (HR 0-1500 mg/L de DQO).
4. Sostener el tubo en un ángulo de 45 grados. Colocar con la pipeta 2 ml de muestra en el frasco.
5. Volver a colocar la tapa del tubo bien ajustada. Enjuagar la parte exterior del tubo de DQO con agua destilada y secarlo con una toalla de papel.
6. Sostener el tubo por la tapa y colocarlo sobre una tina. Invertir suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Colocar el tubo en el Reactor DQO precalentado.

7. Preparar un blanco repitiendo los pasos 3 a 6, sustituyendo 2 ml de agua destilada.
8. Calentar los tubos durante 2 horas.
9. Desconectar el reactor. Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120°C o menos.
10. Invertir cada tubo varias veces mientras están aún calientes. Colocarlos en un estante. Esperar hasta que hayan alcanzado temperatura ambiente.

Determinación colorimétrica, 0 a 1500 mg/L de DQO

1. Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno, alto rango. La pantalla mostrará: Fijar nm par 620.
2. Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 620 nm. Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente: Muestra cero, luego: mg/LCOD HR.
3. Colocar el adaptador para tubos en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha.
4. Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.
5. Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
6. Presionar: ZERO La pantalla mostrará: Puesta a cero... luego: 0 mg/L COD HR
7. Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.
8. Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
9. Presionar: READ. La pantalla mostrará: Leyendo, aparecerá el resultado en mg/l de DQO.

2.5.2. *Parámetros físicos*

2.5.2.1. *Sólidos sedimentables*

- *Materiales*

- a. Conos Imhoff
- b. Varilla de agitación

- *Análisis de muestra mediante el método volumétrico*

1. Llenar un cono Imhoff o un cilindro graduado hasta la marca de 1 L con una muestra bien mezclada.
2. Dejar reposar durante 45 minutos.
3. Agitar suavemente la muestra cerca de los lados del cono con una varilla o girando.

4. Dejar que la muestra se asiente durante otros 15 minutos, si la muestra tiene poca cantidad de sólidos sedimentables, dejar reposar por 24 horas.
5. Registrar el volumen de sólidos sedimentables en el cono como ml/L.

2.5.2.2. *Sólidos totales*

- *Materiales*

- a. Plato de evaporación
- b. Pipeta
- c. Pera de succión

- *Equipos*

- a. Baño maría
- b. Balanza
- c. Desecador
- d. Estufa

- *Preparación del plato de evaporación.*

1. Calentar el plato limpio a 103–105 °C durante ≥ 1 h.
2. Enfriar los platos a temperatura ambiente y pesar.
3. Guardar los platos pesados en un desecador o en el horno hasta que los necesite.

- *Análisis de muestra.*

1. Agitar o mezclar bien la muestra
2. Transferir 25 ml de muestra con una pipeta o un cilindro graduado a un plato previamente pesado.
3. Evaporar las muestras hasta que se sequen en un baño maría. Asegurarse de que la temperatura de evaporación sea 2 °C por debajo de la ebullición.
4. Secar la muestra evaporada durante 1 h en un horno a 103 - 105 °C.
5. Enfriar el plato en el desecador a temperatura ambiente y pesar.

- *Cálculos*

$$\text{mg sólidos totales} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{volumen de muestra (mL)}}$$

Donde:

A: Peso final del residuo seco + plato (mg)

B: Peso del plato (mg)

2.5.3. *Parámetros químicos*

2.5.3.1. *Nitrógeno total*

- *Materiales*

- Pipetas o micropipetas.
- Celdas de muestra de 10 ml.

- *Reactivos*

- Solución de reactivo de hidróxido para nitrógeno total.
- Sobres de persulfato en polvo.
- Reactivo ácido C para nitrógeno total.
- Sobres de reactivos de bisulfito A en polvo.
- Sobres de reactivo indicador B en polvo.

- *Equipos*

- Termo reactor.
- Fotómetro UV-Visible.

- *Análisis de muestra*

- Encender el termo reactor y calentar a 105 °C.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de persulfato de nitrógeno total en polvo a dos tubos de reactivo de digestión de hidróxido de nitrógeno total RA. Limpiar bien el reactivo que haya podido quedar en la tapa o en la rosca del tubo.

3. Añadir 0,5 ml de muestra a un tubo (de la muestra preparada). Añadir 0,5 ml de agua desionizada incluida en kit a otro tubo (blanco).
4. Tapar ambos tubos. Agitar vigorosamente durante al menos 30 segundos para mezclar. El reactivo de persulfato puede no disolverse completamente al agitar. Esto no afectará a la precisión.
5. Colocar los tubos en el reactor. Calentar durante exactamente 30 minutos.
6. Sacar inmediatamente los tubos del reactor. Enfriar los tubos a temperatura ambiente.
7. Seleccionar el test N total RA TNT en el espectrofotómetro. Colocar el protector de luz en el compartimento.
8. Destapar los tubos digeridos y añadir el contenido de un sobre A de reactivo de nitrógeno total en polvo a cada tubo.
9. Tapar bien los tubos y agitar durante 15 segundos.
10. Esperar un periodo de reacción de 3 minutos.
11. Destapar los tubos y añadir un sobre B de reactivo TN en polvo a cada tubo.
12. Tapar los tubos y agitar durante 15 segundos. El reactivo no se disolverá completamente. Esto no afectará a la precisión. La solución adoptará un color amarillo.
13. Esperar un tiempo de reacción de 2 minutos
14. Destapar los dos tubos C de reactivo TN y añadir 2 ml de muestra digerida y tratada a un tubo. Añadir 2 ml de blanco de reactivo digerido u tratado al otro tubo C de reactivo TN.
15. Tapar los tubos e invertirlos diez veces para mezclar. Aplicar inversiones lentas y cuidadosas para conseguir una completa recuperación.
16. Esperar un periodo de reacción de 5 minutos. El color amarillo se intensificará.
17. Limpiar el tubo del blanco e insertarlo en el espectrofotómetro.
18. Presionar cero. La pantalla mostrará 0 mg/L N.
19. Limpiar el tubo de la muestra e insertarlo en el espectrofotómetro.
20. Presionar leer. El resultado se mostrará en mg/L N.

2.5.3.2. Fósforo total

- *Materiales*

- a. Pipetas o micropipetas.
- b. Celdas de muestra de 10 ml.

- *Reactivos*

- a. Test N tube de fósforo total.

- b.** Hidróxido de sodio 1,54 N.
- c.** Sobres de persulfato de potasio.

- *Equipos*

- a.** Termo reactor.
- b.** Fotómetro UV-Visible.

- *Análisis de muestra*

- 1.** Encender el termo reactor y calentar a 150 °C.
- 2.** Seleccionar el test P total RA TNT en el espectrofotómetro. Colocar el protector de luz en el compartimento.
- 3.** Para el blanco, utilizar una pipeta para añadir 5 ml de agua desionizada a un tubo test N tube de fósforo total.
- 4.** Para la muestra preparada, utilizar una pipeta para añadir 5 ml de muestra a un tubo test N tube de fósforo total.
- 5.** Añadir el contenido de un sobre de persulfato de potasio a cada tubo.
- 6.** Tapar los tubos y mezclar hasta disolver el polvo.
- 7.** Insertar los tubos en el termo reactor durante un periodo de 30 minutos.
- 8.** Sacar inmediatamente los tubos del reactor. Enfriar los tubos a temperatura ambiente.
- 9.** Utilizar una pipeta para agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.
- 10.** Limpiar el exterior del tubo con una toalla.
- 11.** Colocar el tubo en el adaptador del espectrofotómetro con el logotipo de Hach de cara al frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
- 12.** Presionar cero, en la pantalla aparecerá 0,00 mg/L P TNT.
- 13.** Agregar el contenido de una bolsa de reactivo de fosfato PhosVer 3 en el tubo.
- 14.** Tapar herméticamente y agitar durante 15 segundos.
- 15.** Comenzar un periodo de espera de dos minutos.
- 16.** Leer las muestras entre 2 y 8 minutos.

2.6. Protocolos de análisis de laboratorio de muestras iniciales y de compost

2.6.1. Preparación de muestras

- *Materiales*

- a. Vaso de precipitación.
- b. Desecador de vidrio.

- *Equipos*

- a. Trituradora y/o Molino.
- b. Estufa.

- *Procedimiento*

1. Las muestras frescas se secan a temperaturas entre 60 y 70 °C hasta llegar a peso constante con el objetivo de eliminar la humedad.
2. Se disminuye el tamaño de las muestras triturando y moliendo las mismas garantizando que el diámetro de partícula sea entre 1 - 3 cm.
3. Se colocan las muestras en vasos de precipitación, se codifican y etiqueta, para secarlas en la estufa a temperaturas de 105°C durante 24 horas, con la finalidad de eliminar toda la humedad presente, pues los resultados deben ser reportados sobre materia seca.
4. Transcurrido el tiempo, las muestras se colocan en el desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente (tiempo aproximado de media hora).
5. Una vez que las muestras se encuentran a temperatura ambiente, se colocan en envases de plástico estériles y herméticos correctamente etiquetados, las muestras en los nuevos recipientes se vuelven a colocar en el desecador.
6. Las muestras se encuentran listas para los análisis posteriores.

2.6.2. Parámetros físico químicos

2.6.2.1. Humedad

- *Materiales*

- a. Crisoles o capsulas de porcelana.

b. Espátula y/o cucharilla.

- *Equipos*

a. Balanza analítica.

b. Estufa.

c. Desecador.

- *Análisis de muestra*

1. Tarar el crisol (105 °C durante 2 horas con el objetivo de eliminar toda la humedad).

2. Pasar al desecador por 30 minutos o hasta que alcance la temperatura ambiente.

3. Codificar las capsulas en la base con lápiz.

4. Tomar nota del peso de la capsula vacía.

5. Añadir 5g de muestra y anotar su peso, con todos los decimales.

6. Colocar en la estufa durante 24 horas a 105 °C.

7. Transcurridas las 24 horas colocar en el desecador por 30 minutos o hasta que alcance la temperatura ambiente.

8. Pesar la muestra seca.

- *Cálculos*

$$\% \equiv H = \frac{(\text{peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cápsula} + \text{muestra}) \text{ secos a } 105^{\circ}\text{C}}{(\text{peso cápsula} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso capsula vacia})} * 100$$

2.6.2.2. *Materia orgánica*

- *Materiales*

a. Crisoles de porcelana 15 - 25 cm.

b. Espátula y/o cucharilla.

c. Equipos.

d. Balanza analítica.

e. Estufa.

f. Mufla.

g. Desecador.

- *Análisis de muestra*

1. Tarar el crisol (105 °C durante 2 horas con el objetivo de eliminar toda la humedad).
2. Pasar al desecador por 30 minutos o hasta que alcance la temperatura ambiente, codificar las capsulas en la base con lápiz y pesar el crisol vacío, anotar el peso del crisol vacío.
3. Añadir 3 g de muestra y anotar su peso, con todos los decimales.
4. Colocar en la estufa durante 24 horas a 430 °C (la mufla se programa por rampas de temperatura, de manera que la temperatura suba y baje de manera gradual)
5. Transcurridas las 24 horas colocar en el desecador por 30 minutos.
6. Pesar el crisol con la muestra calcinada.

- *Cálculo*

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

2.6.2.3. Potencial de hidrógeno (pH)

- *Materiales*

- a. Tubos para centrifuga de 50 ml.
- b. Vasos de precipitación.
- c. Espátula y/o cucharilla.
- d. Piseta.
- e. Gradilla para tubos de centrifuga.
- f. Tamiz.
- g. Mortero y pistilo.

- *Equipos*

- a. Balanza analítica.
- b. Agitador orbital o shaker.
- c. pH-metro.
- d. Centrifuga.

- *Análisis de muestra*

1. Triturar la muestra en un mortero y tamizarla en un tamiz de 2 mm de diámetro.
2. Pesar 4 g de la muestra con precisión de 0.0001 g y colocarla en un tubo para centrifuga.
3. Adicional 40 ml de agua destilada.
4. Agitar en el agitador por 2 horas.
5. Retirar del agitador y dejar sedimentar.
6. Medir el pH directamente del líquido sobrante.
7. Enjuagar siempre el bulbo medidor de pH y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y medición y secar suavemente con un paño de microfibra evitando tocar el bulbo.
8. Colocar y verificar que el bulbo este en la solución de almacenamiento.

2.6.2.4. Conductividad eléctrica

- *Materiales*

- a. Tubos para centrifuga de 50 ml.
- b. Vasos de precipitación.
- c. Espátula y/o cucharilla.
- d. Piseta.
- e. Gradilla para tubos de centrifuga.
- f. Tamiz.
- g. Mortero y pistilo.

- *Equipos*

- a. Balanza analítica.
- b. Agitado orbital o shaker.
- c. Conductímetro.
- d. Centrifuga.

- *Análisis de muestra*

1. Triturar la muestra en un mortero y tamizarla en un tamiz de 2mm de diámetro.
2. Pesar 4 g de la muestra con precisión de 0.0001 g y colocarla en un tubo para centrifuga.
3. Adicional 40 ml de agua destilada.
4. Agitar en el agitador por 2 horas.

5. Retirar del agitador y centrifugar por 4 min a 1000 rpm.
6. Filtrar en papel filtro normal en un tubo para centrifuga.
7. Medir la conductividad eléctrica directamente en el tubo para centrifuga.
8. Enjuagar siempre el bulbo medidor de conductividad y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y medición y secar suavemente con un paño de microfibra.
9. Anotar los datos y fijarnos en las unidades obtenidas (mS o μ S /cm).

2.6.3. Parámetros químicos

2.6.3.1. Carbono y nitrógeno total

- *Materiales*

- a. Mortero con pistilo
- b. Microbalanza
- c. Celda de estaño
- d. Analizador elemental

- *Análisis de muestra*

1. Triturar y homogeneizar una porción de la muestra con ayuda de un mortero con pistilo
2. Pesar 15 mg de muestra con ayuda de la microbalanza en una celda de estaño.
3. Calibrar el equipo.
4. Colocar la muestra directamente en el analizador elemental, el cual actúa por combustión directa.
5. Esperar un momento y obtener los resultados.

2.6.3.2. Polifenoles solubles

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados de diferentes volúmenes los necesarios para la preparación de reactivos y STD's.
- d. Vasos de precipitación de diferentes volúmenes, según las necesidades prestadas.
- e. Filtro de membrana de 47 mm y 0.45 μ m de porosidad (opcional).

- *Equipos*

- Cabina de extracción.
- Reverbero (opcional).
- Baño ultrasónico (opcional).
- Agitador mecánico.
- Centrifuga.
- Equipo de Filtración (Bomba de vacío, Embudo Buchner, Kitasato).

- *Reactivos*

- Acido gálico.
- Reactivo de Folin-Ciocalteu de fenoles (R.A.).
- Carbonato sódico 20%.

- *Análisis de muestra*

- Extracto acuoso; se pesan 2 g de residuo seco y homogenizado en un tubo para centrifuga de 50 ml y se le añaden 40 ml de agua desionizada (1:20) y se agita durante 2 horas. Después de la agitación, se centrifuga a 3000 rpm por 5 minutos.
- Filtrar en un equipo de filtración al vacío (kitasato) para evitar que el extracto tenga sólidos en suspensión que puedan alterar los resultados al leer en el espectrofotómetro y/o dañar las celdas (vidrio, cuarzo, plástico) usadas para la lectura.
- El extracto obtenido se emplea para la determinación de los polifenoles solubles.
- Preparación de STD patrón: se pesa 1 g de ácido gálico y se lleva a 1 L con agua desionizada en el matraz aforado. Esta disolución contiene 1000 ppm de ácido gálico. A partir de la solución patrón, con la ayuda del siguiente cuadro se prepara los siguientes STD para calibrar el espectrofotómetro UV-VIS.

Tabla 8-2: Estándares para polifenoles solubles

NIVEL	C1	V1	C2	V2	Observación
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	1000	0,5	5	100	Nota: se deberá utilizar agua Ultra pura (Tipo 1) Nota II: el mismo tratamiento que se le da a las muestras se le debe dar a los Stds.
1	5	2	0,2	50	
2	5	4	0,4	50	
3	5	8	0,8	50	
4	5	10	1	50	
5	5	15	1,5	50	

Realizado por: Chuquizala Diana & Sánchez Brayan, 2022.

5. Antes de aforar cada STD adicionar 2.5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu. Se agita para homogenizar y después de 3 minutos, se añaden 5 ml de una solución acuosa de carbonato sódico al 20%, se mueve para evitar burbujas generadas.
6. Tratamiento de muestras, de acuerdo a las características de la muestra a los resultados que se esperan, se puede tomar de 0,25 ml a 1 ml del extracto de muestra antes de aforar la alícuota del extracto, se le adicionan 2,5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu, se agita para homogenizar y después de 3 minutos, se añaden 5 ml de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se mueve para eliminar las burbujas generadas y finalmente se lo lleva a un volumen conocido que puede ser de 50 ml usando un balón aforado.
7. Luego de adicionar los reactivos para que se dé la reacción podremos observar un cambio de coloración de amarillo a azul verdoso y finalmente a azul, para que se dé la reacción completa y poder realizar la medición se debe esperar 1 hora.
8. En el caso que presente precipitados (que tornen la solución color blanquecina o lechosa), se recomienda centrifugar las muestras para posteriormente realizar la calibración.
9. En el espectrofotómetro escogemos una longitud de onda de 725 nm.
10. Se mide la absorbancia de los patrones y se hace la curva. El r^2 debe ser 0,9999...
11. Se mide la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm.
12. En el equipo se obtendrá resultados en mg/L.
13. Posteriormente se debe realizar los cálculos para transformar a mg/kg.

- *Cálculos*

Luego realizadas las lecturas en el equipo, procedemos a realizar el cambio de unidades (por tratarse de un sólido), para lo cual vamos a usar la siguiente fórmula.

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

Donde:

C= Concentración a obtener del analito en mg/kg

C_{Equipo} = concentración del Analito obtenido en el equipo en mg/L.

FD= Factor de dilución, se debe tener en cuenta que ya no existe un factor de dilución que debe ser tomado en cuenta el valor de la alícuota llevando al volumen conocido. Por ejemplo 0,25 ml a 50 ml el cual nos da un FD de 200.

Esto también será aplicado en el caso de que la concentración del producto exceda el rango lineal

del método (estándar más alto en la curva de calibración), diluya y analice la muestra, por ejemplo 5 ml a 25 ml tenemos un FD de 5.

V_m = Volumen de la muestra en mililitro, 40 ml.

P_m = Peso de la muestra en gramos (g).

En la formula se incluye los factores de conversión de g a kg y de L a ml.

2.6.3.3. Digestión para el análisis de metales

- *Materiales*

- a. Erlenmeyer de 250 ml.
- b. Vidrio reloj (lisos y rugosos).
- c. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- d. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- e. Embudos de vidrio.
- f. Balones aforados de diferentes volúmenes los necesarios para la preparación de reactivos y STD'S.
- g. Papel filtro Whatman grado 41.
- h. Filtro de membrana de 47 mm y 0,45 μ m de porosidad (opcional).

- *Equipos*

- a. Planchas de calentamiento (reverberos).
- b. Cabina de extracción.
- c. Equipo de filtración (bomba de vacío, embudo Buchner, kitasato).

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO_3) 1:1.
- b. Ácido nítrico (HNO_3) concentrado.
- c. Ácido clorhídrico (HCl) concentrado.
- d. Peróxido de hidrógeno (H_2O_2) 30%.

- *Preparación de reactivos*

Para la preparación del HNO_3 1:1, debemos tomar en cuenta que la cantidad de muestras a ser digestadas, para lo cual debemos tomar volúmenes iguales en recipientes adecuados (probetas) de

agua ultra pura y la sustancia (ácido) y mezclarlos cuidadosamente hasta una mezcla homogénea y almacenar en un recipiente etiquetado y con tapa.

- *Procedimiento*

1. Prestar la muestra previamente homogénea seca y tamizada 2 g con exactitud de 0,001 g. Registrar el peso de para cálculos posteriores.

2. Colocar la muestra en Erlenmeyer de digestión.

Nota. todos los pasos que requieren uso de ácido deben realizarse en una cabina o campana de extracción por personal debidamente cualificado y usando el equipo de protección personal adecuado para laboratorio.

3. Agregar 10 ml de HNO₃ 1:1, mezclar y cubrir con un vidrio reloj.

4. Calentar la muestra a 95 °C ± 5 °C y mantener el flujo durante 10 a 15 minutos sin hervir.

5. Dejar que la muestra se enfríe y refrescar la muestra, agregando 5 ml de HNO₃ concentrado, colocar la tapa (vidrio reloj) y mantener en reflujo durante 30 minutos.

6. Si se generan humos castaños-marrones-oscuros lo que indica que la oxidación de la muestra por HNO₃ repetir este paso (añadir 5 ml de HNO₃ concentrado) hasta que desaparezcan estos humos.

7. Evaporar la solución sin hervir aproximadamente 5 ml o calentar sin hervir a 95 °C ± 5 °C durante 2 horas.

8. Dejar enfriar a temperatura ambiente y agregar 2 ml de agua y 3 ml de H₂O₂ al 30 % cubrir el Erlenmeyer o con un vidrio reloj y colocar el vaso cubierto a la fuente de calor, para empezar la reacción con el peróxido.

Nota: Se debe tener cuidado de que no existan pérdidas debido a la excesiva efervescencia calentada hasta que la efervescencia disminuya y dejar enfriar.

9. Continuar agregando H₂O₂ al 30% en alícuotas de 1 ml calentar hasta que la efervescencia sea mínima o hasta que la apariencia de la muestra general este inalterada.

Nota. No agregue más de un total de 10 ml de H₂O₂ al 30 %.

10. Continuar calentando la solución durante 2 horas, hasta que la digestión ácido peróxido se haya reducido aproximadamente 5 ml.

11. Nota: Mantener una capa de solución en el fondo del recipiente en todo momento.

12. Agregar 10 ml de HCl concentrado, cubra con el vidrio reloj y mantener el reflujo a 95 °C ± 5 °C durante 15 minutos.

13. Filtrar la solución por gravedad utilizando embudos de vidrio y papel filtro Whatman de grado 41, para mejores resultados es posible filtrar en equipo de filtración al vacío a través de membranas de acetato de celulosa de 045 µm.

Nota. Al momento de filtrar procurar que todo el contenido sólido y líquido que se sometió a la

digestión sean infiltrados, el recipiente debe quedar limpio en medida de lo posible.

14. Colectar el filtrado en un vaso balón aforado y llevar un volumen conocido (50 o 100 ml).

15. Analice en el equipo de absorción atómica.

2.6.3.4. Cadmio (Cd)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO₃).
- b. Estándar de cadmio.
- c. Preparar una solución de HNO₃ al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 9-2: Estándares de Cd

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	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 Ultra pura Tipo 1
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: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.5. Plomo (Pb)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.

- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO₃).
- b. Estándar de plomo.
- c. Preparar una solución de HNO₃ al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 10-2: Estándares de Pb

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	1000	0.2	30	100	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃
1	30	0.5	0.3	50	Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
2	30	1	0.6	50	
3	30	1.5	0.6	50	
4	30	2.5	1.5	50	
5	30	5	3	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.6. Mercurio (Hg)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido Clorhídrico (HCl).
- b. Hidróxido de sodio (NaOH).
- c. Borohidruro de Sodio (NaBH₄).
- d. Estándar de Mercurio.

- *Análisis de muestra*

Antes de la determinación del Mercurio debemos preparar las siguientes soluciones.

Preparar una solución de HCl 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Solución 1. Solución al 10% de HCl V/V

Solución 2. Solución al 0,5% de NaOH + solución al 0,6% de NaBH₄.

Preparar una solución de HNO₃ al 1%, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 11-2: Estándares de Hg

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	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 HNO ₃
Stock	1000	0.1	1	100	1	Nota: utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
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	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.7. Arsénico (As)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- Ácido Clorhídrico (HCl).
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Borohidruro de Sodio (NaBH₄).
- Estándar de Arsénico.
- Agua acidulada 10% de HCl.
- Yoduro de potasio (KI)
- Ácido Ascórbico (C₆H₈O₆)

- *Procedimiento*

- Antes de la determinación de la concentración Arsénico se debe preparar la solución reductora la cual está compuesta por los siguientes reactivos.
- Solución al 10% de KI m/v + solución al 10% de C₆H₈O₆ m/v.
- Tomar un volumen de 16 ml de muestra de las cuales:
- Se adiciona 2ml de la solución reductora en cada muestra.
- Se adiciona 2ml de ácido clorhídrico concentrado en cada muestra.
- Para la lectura en el equipo de absorción atómica se debe preparar las siguientes soluciones para la generación de Hidruros.
- Solución al 0,5% de NaOH + Solución al 0,6% de NaBH₄.

Tabla 12-2: Estándares de As

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	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 HNO ₃
Stock	1000	0.1	1	100	1	Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
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	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Dejar en reposo durante al menos 2 horas para que se dé la reacción de reducción y leer inmediatamente (Nota: Preparar la muestra siempre y cuando se esté seguro de realizar la lectura,

NO se pueden guardar estas soluciones).

2.6.3.8. Selenio (Se)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido Clorhídrico (HCl).
- b. Hidróxido de sodio (NaOH).
- c. Borohidruro de Sodio (NaBH₄).
- d. Estándar de Selenio.

- *Procedimiento*

1. Antes de la determinación de la concentración Selenio se debe preparar la solución.
2. Tomar un volumen de 5 ml de muestras a las cuales:
3. Se adiciona 5 ml de HCl concentrado en cada muestra
4. Calentar a baño María a 90 °C entre 30 – 40 minutos.
5. Para la lectura en el Equipo de Absorción Atómica se debe preparar las siguientes soluciones para la generación de hidruros.
6. Solución al 0,5% de NaOH + Solución al 0,6% de NaBH₄.

Tabla 13-2: Estándares de selenio

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación	
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	Concentración obtenida en (ppb o $\mu\text{g/L}$)	
Stock	1000	0.1	1	100	1	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO_3 Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
1	1	0.5	0.01	50	5	
2	1	1	0.02	50	10	
3	1	1.5	0.03	50	20	
4	1	2	0.04	50	30	
5	1	2.5	0.05	50	40	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: Preparar la muestra siempre y cuando se esté seguro de realizar la lectura, no se pueden guardar estas soluciones.

2.6.3.9. Extracción de macronutrientes (Ca, Na, K)

- *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 (opcional).

- *Equipos*

- Agitador.
- Centrífuga.
- Equipo de filtración (bomba de vacío, embudo Buchner, kitasato).

- *Reactivos*

- Acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1M.

- *Preparación de reactivos*

1. Para la preparación de los reactivos (ácido y soluciones) debemos tener en cuenta la cantidad de muestras de las cuales se va a ser la estación a continuación se explica el procedimiento para preparar un litro de solución.
2. Para la preparación de $(\text{CH}_3\text{COONH}_4 \text{ 1M})$, de peso molecular $77,08 \text{ g/mol}$ debemos de tomar $77,08\text{g}$ de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, disolver en un volumen adecuado de agua y posteriormente completar a un litro de agua ultrapura en un balón aforado.

- *Procedimiento*

1. Pesarse la muestra previamente homogénea, seca y tamizada, 2 g con una exactitud de $0,0001 \text{ g}$. Registrar el peso para cálculos posteriores.
2. Colocar la muestra en recipientes de volúmenes adecuados para la extracción de los cuáles pueden ser; (tubos centrífuga y/o Erlenmeyers).
3. Adicionar a la muestra 50 ml de solución extractora y agitar por 20 minutos .

Nota: el peso de la muestra y el volumen pueden variar tomando en cuenta las características de la muestra ya que puede haber muestras que por sus características ocupan un volumen mayor, así como también absorban la solución extractora.

4. Una vez terminada la agitación se puede centrifugar y posteriormente filtrar la muestra evitando que el filtrado presente sólidos suspendidos y/o sedimentables.
5. El extracto obtenido será analizado por las diferentes técnicas analíticas disponibles se recomienda absorción atómica.

2.6.3.10. Fósforo (P)

- *Materiales*

- a. Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión).
- c. Balones aforados.
- d. Tubos de centrífuga.

- *Equipos*

- a. pHmetro.
- b. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

Solución A

- Disuelva 60 g de Molibdato de Amonio en 200 ml de agua.
- Añadir 1,455 g de Tartrato de Antimonio y Potasio, disuelva.
- Añadir 700 ml de Ácido Sulfúrico, agregar el ácido lentamente y con agitación leve, al realizar este procedimiento se notará que aumenta la temperatura de la solución, la cual se debe dejar enfriar y una vez a temperatura ambiente aforar a 1 L.

Solución B

- Ácido Ascórbico: Disuelva 132 g de ácido ascórbico en agua y complete a 1 L en un balón aforado.
- Guardar las dos soluciones en una refrigeradora, para almacenar.

Solución de Trabajo (Solución de Color), esta solución desarrollará la coloración necesaria para el análisis:

Nota: Recomendación

- Se deberá preparar la solución de trabajo.
- Tomar 35 ml de la Solución A, agregar 800 ml de agua, mezclar bien y añadir 10 ml de Solución B, aforar a 1 litro.

Nota: Se necesita 5 ml de esta solución por cada muestra y STD.

- *Análisis de muestra*

- Tomamos 5 ml de la muestra procedente de la digestión ácida, la cual, con ayuda de una solución de hidróxido de sodio, vamos a llevar a un pH de entre 3 a 3,5.
- Una vez estabilizado el pH a ese valor aforamos a un volumen conocido que puede ser de 50 a 100 ml con la ayuda de un balón aforado, tomando en cuenta siempre el factor de dilución que se ha realizado.
- Preparamos los STD para la curva de calibración.

Tabla 14-2: Estándares de P

Nivel	C1	V1	C2	V2	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	10000	0,25	25	100	
1	25	0,2	0,1	50	
2	25	0,8	0,4	50	
3	25	1,6	0,8	50	
4	25	3	1,5	50	
5	25	4	2	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

4. Una vez aforado y preparados los reactivos, tomamos 5 ml de la solución previamente aforada y 5 ml de cada STD y adicionamos 5 ml de la Solución de Color para Fósforo.
5. Esperamos 15 minutos para que se dé la reacción de color
6. Preparar el espectrofotómetro a 880 nm para la lectura de STD y muestras
7. Una vez preparado el Espectrofotómetro, y calibrado con las soluciones STD, se lee las muestras.

2.6.3.11. Calcio

- *Materiales*

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

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO₃).
- b. Estándar de Manganeseo.
- c. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 15-2: Estándares de calcio

Nivel	C1	V1	C2	V2	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	1000	2,5	100	25	
1	100	0,3	0,6	50	
2	100	0,5	1	50	
3	100	1	2	50	
4	100	2	4	50	
5	100	3	6	50	

Realizado por: Chuquizala Diana & Sánchez Brayan, 2022.

2.6.3.12. Sodio (Na)

- *Materiales*

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

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO₃).
- b. Estándar de sodio.
- c. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 16-2: Estándares de Na

	C1	V1	C2	V2	
Nivel	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
Stock	1000	1	10	100	
1	10	1	0,2	50	
2	10	2	0,4	50	
3	10	4	0,8	50	
4	10	7,5	1,5	50	
5	10	10	2	50	

Realizado por: Chuquizala Diana & Sánchez Brayan, 2022.

2.6.3.13. Potasio (K)

- *Materiales*

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

c. Balones aforados.

- *Equipos*

a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

a. Ácido nítrico (HNO₃).

b. Estándar de potasio.

c. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 17-2: Estándares de potasio

Nivel	C1	V1	C2	V2	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	1000	1	10	100	
1	10	1	0,2	50	
2	10	2	0,4	50	
3	10	4	0,8	50	
4	10	7,5	1,5	50	
5	10	10	2	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.14. Extracción de micronutrientes (Cu, Mn, Fe, Zn)

- *Materiales*

a. Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas.

b. Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión).

c. Embudos de vidrio.

d. Balones aforados.

e. Papel filtro Whatman grado 41.

f. Filtro de Membrana de 47 mm y 0,45 µm de porosidad (opcional).

- *Equipos*
 - a. Agitador.
 - b. Centrífuga.
 - c. Equipo de filtración (bomba de vacío, embudo Buchner, kitasato).

- *Reactivos*
 - a. Acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1M.
 - b. Ácido Clorhídrico (HCl) 1M.
 - c. Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) 5M.
 - d. Solución Extractora Doble Ácido ($\text{HCl}+\text{H}_2\text{SO}_4$).

- *Preparación de reactivos*

Para la preparación de los reactivos (ácidos y soluciones), debemos tomar en cuenta la cantidad de muestras de las cuales se va a hacer la extracción, a continuación, se explica el procedimiento para preparar 1 litro de las soluciones.

1. Para preparar 1 litro de HC 1M, de Peso Molecular 36,46 g/mol, con densidad de 1,18 g/ml y 37% de pureza, debemos tomar 83,50 ml de HCl y aforar a un litro con agua ultrapura
2. Para preparar 1 litro de H_2SO_4 5M, de Peso Molecular 98.08 g/mol, con densidad de 1,84 g/ml y 98% de pureza, debemos tomar 271,96 ml de H_2SO_4 y aforar a un litro con agua ultrapura.
3. Para la solución Extractora Doble Ácido ($\text{HCl}+\text{H}_2\text{SO}_4$): Tome 50 ml de HCl (1M) + 2.5 ml de H_2SO_4 (5M) y lleve a 1 L con agua Tipo I (Ultrapura)

Todas las soluciones deberán ser almacenadas en recipientes adecuados para su almacenamiento, con etiqueta y tapa.

- *Procedimiento*

1. Pesar la muestra previamente homogénea, seca y tamizada, 4 g con una exactitud de 0,0001 g. Registrar el peso para cálculos posteriores.
2. Colocar la muestra en recipientes de volúmenes adecuados para la extracción los cuales pueden ser; (tubos de centrífuga y/o Erlenmeyers).
3. Adicionar a la muestra 40 ml de la solución extractora y agite por 20 minutos

Nota: el peso de la muestra y el volumen pueden variar, tomando en cuenta las características de

la muestra ya que puede haber muestras que por sus características ocupen un volumen mayor, así como también absorban la solución extractora).

4. Una vez terminada la agitación se puede centrifugar y posteriormente filtrar la muestra, evitando que el filtrado presente sólidos suspendidos y/o sedimentables.
5. El extracto obtenido será analizado por las diferentes técnicas analíticas disponibles se recomienda Absorción Atómica.

2.6.3.15. Cobre (Cu)

- *Materiales*

- a. Pipetas automáticas de volumen variable y/o con sus respectivas puntas.
- b. Pipetas volumétricas de vidrio de diferentes volúmenes con propipeta (pera de succión.)
- c. Balones aforados.

- *Equipos*

- a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- a. Ácido nítrico (HNO₃).
- b. Estándar de Cobre.
- c. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

Tabla 18-2: Estándares de Cu

Nivel	C1	V1	C2	V2	Observación
	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	
Stock	1000	0,5	5	100	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
1	5	0,2	0,02	50	
2	5	0,5	0,05	50	
3	5	1	0,1	50	
4	5	2	0,2	50	
5	5	5	0,5	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.16. Manganeso (Mn)

- *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 (HNO₃).
- Estándar de manganeso.
- Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 19-2: Estándares de Mn

	C1	V1	C2	V2	
Nivel	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
Stock	1000	2,5	25	100	
1	25	0,2	0,2	50	
2	25	0,5	0,25	50	
3	25	1	0,5	50	
4	25	2	1	50	
5	25	4	2	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.17. Hierro (Fe)

- *Materiales*

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

c. Balones aforados.

- *Equipos*

a. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

a. Ácido nítrico (HNO₃).

b. Estándar de Hierro.

c. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 20-2: Estándares de Fe

	C1	V1	C2	V2	
Nivel	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
Stock	1000	5	50	100	
1	50	0,2	0,2	50	
2	50	0,5	0,5	50	
3	50	1	1	50	
4	50	2	2	50	
5	50	3	3	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.18. Zinc (Zn)

- *Materiales*

d. Pipetas Automáticas de Volumen Variable y/o con sus respectivas puntas.

e. Pipetas Volumétricas de Vidrio de diferentes volúmenes con Propipeta (pera de succión).

f. Balones aforados.

- *Equipos*

b. Cabina de extracción.

- *Reactivos*

- d. Ácido nítrico (HNO₃).
- e. Estándar de zinc.
- f. Preparar una solución de HNO₃ al 1 %, el volumen necesario para aforar los estándares.

- *Análisis de muestra*

Tabla 21-2: Estándares de zinc

	C1	V1	C2	V2	
Nivel	Concentración inicial (ppm)	Valor a tomar de la concentración inicial	Concentración a la que se quiere llevar (ppm)	Volumen a aforar (ml)	Aforar cada STD con agua Acidulada al 1% de HNO ₃ Nota: se deberá utilizar Agua Ultra pura Tipo 1
Stock	1000	1	10	100	
1	10	0,25	0,05	50	
2	10	0,5	0,1	50	
3	10	1	0,2	50	
4	10	2,5	0,5	50	
5	10	5	1	50	

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

2.6.3.19. Procesamiento de resultados (metales pesados, macro y micronutrientes)

Luego de realizadas las lecturas en el equipo, procedemos a realizar el cambio de unidades (por tratarse de un sólido), para lo cual vamos a usar la siguiente fórmula.

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

Donde:

C: Concentración a obtener del Analito en mg/kg.

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

FD: Factor de Dilución, en caso de que concentración del producto exceda del rango lineal del método (estándar más alto en la curva de calibración), diluya y analice la muestra, por ejemplo 5 ml a 25 ml, tenemos un FD de 5.

V_m: Volumen de la Muestra en mililitros (ml), volumen al que se afora luego de la digestión.

P_m: Peso de la Muestra en gramos (g).

En la formula se incluye los factores de conversión de g a kg y de ml a litros.

2.6.3.20. Extracción para aniones (PO_4^{3-} , NO_3 , SO_4^{2-})

- *Materiales*

- a. Tubos para centrifuga de 50 ml.
- b. Vasos de precipitación.
- c. Vidrio Reloj (lisos y rugosos).
- d. Filtro de Membrana de 47 mm y 0,45 μ m de porosidad.

- *Equipos*

- b. Agitar orbital o shaker.
- c. Centrifuga.
- d. Equipo de Filtración (Bomba de vacío, embudo Buchner, Kitasato).

- *Reactivos*

- a. Agua destilada.
- b. Carbón activado.

- *Procedimiento*

1. Preparar extractos de las muestras sólidas en proporción 1:50 en tubos para centrifuga.
2. Agitar en el agitador orbital durante 2 horas.
3. Retirar del agitador y centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm.
4. Filtrar en papel filtro normal en un tubo de centrifuga.
5. Si la muestra presenta coloración, agregar 0,5 g de carbón activado
6. Agitar en el agitador orbital durante 30 minutos.
7. Filtrar en papel filtro de membrana de 0,45 μ m con ayuda de un equipo de filtración.
8. Utilizar inmediatamente, o mantener en refrigeración hasta su uso.

2.6.3.21. Cloruros (Cl^-) (método Mohr)

- *Materiales*

- a. Buretas.
- b. Erlenmeyer de 250 ml.
- c. Soporte y pinza bureta.

- d. Papel filtro.
- e. Tubos para centrifuga.

- *Equipos*

- a. Centrifuga.
- b. Agitador.
- c. Micropipeta.

- *Reactivos*

- a. Nitrato de plata AgNO_3 .
- b. Cromato de potasio K_2CrO_4 .

- *Análisis de muestra*

1. Preparar extractos de las muestras sólidas en proporción 1:20 en tubos para centrifuga 1.25 g - 25 ml.
2. Agitar en el agitador magnético durante 2 horas.
3. Retirar del agitador y centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm.
4. Filtrar en papel filtro normal en un tubo de centrifuga.
5. Con micropipeta tomar 1 ml de este extracto y aforar a 100 ml.
6. Tomar 25 ml de la nueva solución en un matraz Erlenmeyer.
7. Añadir 4 – 6 gotas de indicador (K_2CrO_4 5%).
8. Titular con la solución de AgNO_3 0,01 N hasta la formación de un color ladrillo.
9. Medir el volumen de AgNO_3 (ml) consumido.

- *Cálculo*

$$\text{Cl}^- \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(A - B) * N * 3545}{\text{ml muestra}} * 100$$

Donde:

A= ml valoración para la muestra.

B=ml valoración para el blanco.

N= normalidad de AgNO_3 .

2.6.3.22. Fosfatos (PO_4^{3-})

- *Materiales*

- a. Pipetas o micropipetas.
- b. Celdas de muestra de 10 ml.

- *Equipos*

- d. Fotómetro UV-Visible.

- *Reactivos*

- a. Bolsas de polvo de reactivo de nitrato PhosVer 3.

- *Análisis de muestra*

1. Ingresar el número de programa almacenado para el fosfato TNT (PO_4^{3-}).
2. Llenar una celda de muestra limpia con 10 ml de muestra.
3. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato PhosVer 3 en la celda de muestra (la muestra preparada).
4. Presionar: Shift timer. Agitar la celda enérgicamente hasta que el cronómetro suene en 30 segundos.
5. Presionar: Shift timer. Se iniciará un período de reacción de 3 minutos.
6. Llenar una segunda celda de muestra con 10 ml de muestra (el blanco).
7. Colocar el blanco en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
8. Encerar el equipo.
9. Dentro de los cinco minutos posteriores al timbre del cronómetro, colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
10. Presionar: Leer. En pantalla se leerá: Leyendo. Luego los sulfatos aparecerán en mg/l rango (PO_4^{3-}).

2.6.3.23. Nitratos (NO_3^-)

- *Materiales*

- a. Pipetas o micropipetas.
- b. Celdas de muestra de 10 ml.

- *Equipos*

- a. Fotómetro UV-Visible.

- *Reactivos*

- a. Bolsas de polvo de reactivo de nitrato NitraVer 5.

- *Análisis de muestra*

1. Ingresar el número de programa almacenado para el nitrógeno de nitrato de alto rango (NO_3^- -N).
2. Llenar una celda de muestra limpia con 10 ml de muestra.
3. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de sulfato NitraVer 5 en la celda de muestra (la muestra preparada).
4. Presionar: Shift timer. Agitar la celda enérgicamente hasta que el cronómetro suene en un minuto.
5. Cuando suene el cronómetro, presionar: Shift timer. Comenzará un periodo de reacción de 5 minutos.
6. Llenar una segunda celda de muestra con 10 ml de muestra (el blanco).
7. Colocar el blanco en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
8. Encerar el equipo.
9. Dentro de los cinco minutos posteriores al timbre del cronómetro, Colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
10. Presionar: Leer. En pantalla se leerá: Leyendo. Luego los sulfatos aparecerán en mg/l rango (NO_3^- -N).

2.6.3.24. Sulfatos (SO_4^{2-})

- *Materiales*

- a. Pipetas o micropipetas.
- b. Celdas de muestra de 10 ml.

- *Equipos*

- a. Fotómetro UV-Visible.

- *Reactivos*

- a. Bolsas de polvo de reactivo de sulfato SulfaVer 4.

- *Análisis de muestra*

1. Diluir las muestras de ser necesario.
2. Ingresar el número de programa almacenado adecuado para las bolsas de polvo de sulfato (SO_4^{2-}).
3. Llenar una celda de muestra limpia con 10 ml de muestra.
4. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de sulfato SulfaVer 4 en la celda de muestra (la muestra preparada).
5. Presionar: Shift timer. Se iniciará un período de reacción de 5 minutos.
6. Llenar una segunda celda de muestra con 10 ml de muestra (el blanco).
7. Colocar el blanco en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
8. Encerar el equipo.
9. Dentro de los cinco minutos posteriores al timbre del cronómetro,
10. Colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.
11. Presionar: Leer. En pantalla se leerá: Leyendo. Luego los sulfatos aparecerán en mg/l SO_4^{2-} .

2.6.4. *Parámetros biológicos*

2.6.4.1. Índice de germinación

- *Materiales*

- a. Pipeta.
- b. Micropipeta.
- c. Cajas Petri.
- d. Tubos para centrifuga de 50 ml.
- e. Vaso de precipitación.
- f. Embudo Buchner.

- g. Papel filtro.
- h. Filtros de nitrocelulosa de 0.45 μm .
- i. Papel aluminio.

- *Equipos*

- a. Incubadora.
- b. Balanza.
- c. Centrifuga.
- d. Agitador – shaker orbital.

- *Reactivos*

- a. Etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ al 50%).
- b. Agua destilada desmineralizada.

- *Análisis de muestra*

1. Pesar la muestra previamente homogénea, seca y tamizada, 2 g.
2. Se prepara una dilución de las muestras sólidas en proporción 1:15, para esto
3. Se humedece la muestra con agua desionizada hasta alcanzar aproximadamente el 60% de humedad (1,5 ml por 1 g de muestra) y se deja en reposo durante 30 minutos.
4. Se añaden 1,5 ml de agua desionizada por gramo de muestra seca, para diluir este extracto hasta el 10 %.
5. Se agitan las muestras en el agitador durante 30 minutos.
6. Se centrifugan a 4000 rpm durante 10 minutos.
7. Se filtra la solución con la ayuda de filtros de nano membrana de 0,45 μm (el filtro contiene nitrocelulosa) en embudos Buchner mediante vacío para esterilizar el extracto. Si la filtración no es rápida se puede filtrar mediante papel filtro normal.
8. En cajas Petri de 10 cm de diámetro, cubiertas de papel filtro, se ponen 8 semillas de berro y se añaden 2 ml de extracto acuoso mojando el papel en su totalidad, realizándose un total de 10 repeticiones por cada muestra (correctamente codificada).
9. Es necesario también colocar un blanco en la incubadora (10 cajas Petri con agua destilada)
10. Las semillas se incuban a 27,5 °C distribuyendo las placas de forma aleatoria dentro de la estufa durante 48 horas en oscuridad, para esto se envuelven las cajas en papel aluminio.

11. Transcurrido este tiempo, se añade 1 ml de etanol y agua 1:1 (v/v) para detener el crecimiento de las plantas (nota: si se considera necesario, este paso se puede obviar) y se dejan 10 minutos en el refrigerador.
12. Se retiran las semillas y se colocan en una hoja de papel para cuantificar el número de semillas germinadas y la longitud alcanzada por las raíces por caja, con la ayuda de un calibrador.
13. Los resultados se expresan como índice de germinación, el cual se obtiene al multiplicar el porcentaje de germinación (G) y el porcentaje de crecimiento de las raíces (L), ambos respecto al control hecho con agua destilada y dividir para cien.

- *Cálculo*

$$IG\% = \frac{(\%G * \%L)}{100}$$

2.7. Análisis estadístico

En todas las pilas realizadas, la pérdida de MO durante el compostaje se ajustó a una función cinética de primer orden como nos explica (Idrovo et al. 2018, p. 320), utilizando el programa informático Sigmaplot 10.0 (Systat Software Inc. San José, California, EE.UU.).

Se empleó la siguiente ecuación para calcular este parámetro:

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

Donde:

A: Máxima degradación de la materia orgánica (%)

k: Constante de velocidad de degradación (d^{-1})

t: El tiempo de compostaje (d)

La comparación de los ajustes de las diferentes funciones y la significación estadística del ajuste de la curva fueron estimados mediante el RMS (raíz cuadrada media) y el valor de F (análisis de varianza de todos los factores).

Los siguientes análisis estadísticos se realizaron con el paquete de software estadístico SPSS v. 24.0 (IBM Software, Armonk, Nueva York, EE. UU.). Se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), con $P < 0,05$, para calcular las significancias de las diferencias entre los valores medios de cada parámetro estudiado para cada pila durante el compostaje. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para interpretar la relación entre las variables estudiadas y entre las diferentes muestras de cada pila. Las nuevas variables calculadas se

denominaron “componentes principales” (PC). El PCA se llevó a cabo utilizando los valores medios de tres repeticiones para cada parámetro. Los PC elegidos fueron suficientes para explicar más del 80% de la varianza observada. Las diferencias en el valor agronómico entre los compost finales se calcularon mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), al nivel de significancia del 5%. Se utilizó la prueba de Tukey-b para realizar la separación de los valores medios.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Revisión ambiental inicial

3.1.1. Análisis de muestras de agua

Tabla 1-3: Resultados de análisis físico-químicos, físicos y químicos en los diferentes muestreos

Muestra	pH	CE (dS m ⁻¹)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (ml/L)	ST (mg/L)	NT (mg/L)	PT (mg/L)
PTAR “Barrios Pifo”									
MA1-M1	7,2 3	0,525	3,88	162,00	142,50	3,75	457,00	48,50	10,13
MA2-M1	7,3 3	0,323	6,42	2,75	57,00	0,55	230,00	32,50	9,73
MA1-M2	7,3 9	0,615	4,02	140,50	208,00	3,25	327,00	74,00	12,70
MA2-M2	7,1 1	0,344	6,13	0,50	37,00	0,05	152,00	38,50	10,80

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: MA1: Influyente, MA2: Efluente, M1: Primer muestreo, M2: Segundo muestreo, pH: Potencial de hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica, DBO: Demanda bioquímica de oxígeno, DQO: Demanda química de oxígeno, SS: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos totales, NT: Nitrógeno total, PT: Fósforo total

En los resultados de la PTAR se observaron valores de pH neutros, similares tanto en entradas como en salidas, estos valores se encuentran entre el rango de valores permisibles de 6-9; lo cual según (Lazcano 2016, p. 237), facilita el tratamiento biológico del agua a la vez que permite la existencia de vida acuática.

En cuanto a la conductividad eléctrica obtuvimos que las muestras de agua se encuentran en el rango de 0,25-0,75 dS m⁻¹, mismo que según (Carrera et al. 2015, p. 76), se clasifica como C2. Moderada Salinidad. Aquí también pudimos observar una disminución de este parámetro en el efluente.

Con respecto a la DBO₅, se observó gran cantidad de remoción, con valores similares; datos que demostraron gran consistencia en el tiempo. Todos los resultados señalan efluentes con alta disminución de contaminantes orgánicos por agentes biológicos con valores <100 mg/L, valor límite de la normativa ambiental.

Lo mismo ocurrió con la DQO en donde podemos observar altas remociones, denotando también consistencia de los datos en el tiempo, debido a la similitud de resultados. Los resultados en todos los casos nos indican una gran capacidad química para la descomposición de materia orgánica, sin embargo estos datos son menores que la remoción de DBO₅, según (Torres 2014, p. 261), esto

debido a que la DQO es una medida no solo de la materia orgánica; sino también inorgánica en el agua, que puede ser oxidada.

En cuanto a SS y ST, observamos mayor remoción en los primeros, aquí observamos también aún estabilidad en los resultados a través del tiempo, además se encuentran bajo el límite máximo permisible (1600 mg/L).

En cuanto a la remoción de nitrógeno se notó una mayor cantidad en el influente del segundo muestreo.

Sin embargo, se encontró un problema en la remoción de fósforo, ya que los niveles de remoción fueron muy bajos. Esto ocurrió en la investigación realizada por (Bello y Lara 2006, p. 107), mismo que indica que esto sucede debido a la edad del lodo generado, ya que la evacuación del mismo es muy baja y esto puede generar la recirculación de estos residuos en el sistema.

Todos los resultados de los efluentes se encuentran dentro de los límites establecidos para descarga a cuerpos de agua dulce establecidos por el acuerdo ministerial 97-A (Tabla 7-1), a excepción del fósforo en el segundo muestreo, ya que sobrepasa los 10 g/L, valor límite establecido por la normativa ambiental vigente.

3.1.2. Análisis de muestras de lodos

Tabla 2-3: Resultados de análisis físico-químicos, físicos y químicos en los diferentes muestreos

Análisis		ML-M1	ML-M2
Humedad		52,19	89,05
pH		5,57	5,58
CE (dS m ⁻¹)		1,35	1,35
MO (%)		51,59	48,41
C _{org} (%)		23,92	29,80
NT (%)		3,82	2,66
C _{org} /NT		6,26	11,20
Polifenoles (mg/Kg)		1330	4670
IG (%)		77,57	0,01
Macronutrientes (mg/Kg)	P	350,48	1270,95
	Na	637,47	1002,63
	K	1973,86	2133,07
	Ca	9046,64	7724,27
Micronutrientes (mg/Kg)	Fe	27498,56	27331,28
	Mn	235,84	152,75
	Cu	170,09	128,06

	Zn	494,02	369,38
Metales Pesados (mg/Kg)	As	0,79	3,19
	Se	1,76	3,32
	Cd	0,65	0,89
	Hg	0,39	0,29
	Pb	13,34	11,58
Aniones (mg/Kg)	Cl⁻	601,41	311,93
	(SO₄)²⁻	1620,00	3519,00
	(PO₄)³⁻	411,00	949,00
	(NO)³⁻	1375,00	2123,00

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: ML: Muestra de lodo, M1: Primer muestreo, M2: Segundo muestreo, pH: Potencial de hidrógeno, MO: Materia orgánica, C_{org}: Carbono orgánico, NT: Nitrógeno total, IG: Índice de germinación, P: Fósforo, Na: Sodio, K: potasio Ca: Calcio, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Cu: Cobre, Zn: Zinc, As: Arsénico, Se: Selenio, Cd: Cadmio, Hg: Mercurio, Pb: Plomo, Cl⁻: Cloruros, (SO₄)²⁻: Sulfatos, (PO₄)³⁻: Fosfatos, (NO)³⁻: Nitratos

En la tabla 2-3 de las características físico químicas evaluadas, pudimos observar que los lodos residuales analizados poseían un alto contenido de humedad, como detalla (Castillo et al. 2020, p. 26) en su investigación que al tener humedades superiores a superiores a 50% podrían promover el recrecimiento de microorganismos.

Los resultados evidenciaron que el valor de pH tiende a volverse un poco ácido por el tratamiento empleado en la PTAR para su estabilización a la vez que se encontró una relación C/N baja, valores similares descritos por (Torres et al. 2005, p. 56) en su investigación.

La conductividad eléctrica analizada en las muestras fue de 1,35 dS/m, definiéndolas como un material salino, tal como como lo describen (Cupe y Juscamaita 2018, p. 7).

Los polifenoles se encuentran correlacionados con el IG, ya que según (Pireño et al. 2013, p. 197) la concentración de polifenoles y el índice de germinación van de la mano, debido a que mientras mayor sea la concentración de polifenoles en las muestras, menor será su índice de germinación; durante el segundo muestreo pudimos evidenciar datos de polifenoles muy altos, por lo que resultaron muy fitotóxicos, arrojándonos un IG con valores menores a 0,1%.

Los valores de macro y micronutrientes obtenidos fueron muy elevados, lo mismo ocurre en la investigación de (Holguín et al. 2014, p. 63), estos autores describen este tipo de lodos como un residuo de mucha importancia para uso potencial en el área agrícola.

Según los mismos autores, los lodos residuales poseen un alto contenido de MO, nuestras muestras sobrepasaron el 50 %, con lo cual podemos aseverar un eficiente tratamiento de la PTAR.

Los valores detallados de metales pesados entran en los límites permisibles en lodos residuales destinados a uso agrícola establecidos en la comunidad Económica Europea (CEE).

Sin embargo el plomo fue el elemento con mayor concentración, esto puede estar asociado a los minerales de arcilla (partículas de suelo) presentes en el agua de lluvia, producto de escorrentía, las cuales son recogidas conjuntamente con las aguas domésticas para su tratamiento (Zauahre et al. 2003, p. 9). A eso podemos agregar que los lodos tuvieron un pH ligeramente ácido, lo cual también es un factor que estimula la disponibilidad de este metal, esto según la investigación de (Castillo et al. 2020, p. 26).

3.2. Caracterización inicial

Tabla 3-3: Resultados de los análisis de materiales iniciales: residuos de cebada (R-CEB), residuos de muestras de lodo (RES-ML) (sms)

	R-CEB	R-ML
pH	7,00±0,02	5,33±0,04
CE (dS m-1)	0,0363±0,02	0,0107±0,0002
MO (%)	92,38±0,04	54,18±1,02
C_{org} (%)	53,74	23,92
Nt (%)	0,51	3,82
C_{org}/Nt	105,37	6,26
Polifenoles (mg/Kg)	5480±36	1680±23
IG (%)	0,06	60,81
Macronutrientes (mg Kg⁻¹)		
P	8,86±0,58	1178,44±3,24
Na	162,78±2,12	1352,53±10,09
K	11415,45±8,84	2153,37±6,9
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)		
Fe	112,37±2,56	24403,85±2,91
Mn	47,57±0,75	306,94±1,45
Cu	6,20±0,09	241,59±1,73
Zn	15,76±0,23	389,83±1,35
Aniones (mg Kg⁻¹)		
Cl⁻	564,66±3,2	566,78±0,03
SO₄²⁻	6198,00	8997,00
NO₃⁻	12,00	1125,00
PO₄³⁻	1197,50±3,53	650,00
Metales pesados (mg Kg⁻¹)		
As	<0,02	2,96±0,04
Se	<0,02	3,04±0,12
Cd	0,03±0,003	0,9±0,04
Hg	<0,05	0,23±0,005
Pb	8,10±0,1	8,06±0,5

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: R: Residuo, CEB: Cebada, ML: Muestra de lodo, para demás abreviaturas ver la tabla 2-3

De acuerdo a los resultados descritos en la tabla 3-3, se observa que el pH varió mucho en comparación al adecuado para la conformación de las pilas de compost, oscilando estos valores entre 6,5 y 8 según (Torres et al. 2005, p. 58), mientras que en nuestra investigación se obtuvo un valor

muy por debajo de lo estipulado para el residuo de lodo, motivo por el cual el valor de pH del residuo de cebada fue un tanto mayor para su respectivo ajuste, según el manual del compostaje del agricultor, un pH ácido puede afectar la calidad del compost.

Para los valores de conductividad eléctrica en estos residuos no se encontró mucha variación, teniendo resultados $<0,03$ dS/m como nos indica (Brito et al. 2016, p. 86), ya que en un proceso de compostaje es preferible tener valores bajos de CE, puesto que la existencia de sales está asociada a la concentración de elementos como el K y aniones.

La relación C/N de los residuos iniciales varió de manera considerable, esto se debe a que los biosólidos tienen como característica una baja relación de estos compuestos, tal como nos describe (Torres et al. 2007, p. 270), de la misma manera nos indica que esto se puede remediar mediante el uso de materiales con una elevada relación C/N, que actúen como enmienda para los mismos, en el caso de la cebada la alta relación fue a causa de a la presencia de compuestos ricos en lignina y celulosa que hacen difícil su degradación.

En cuanto a los resultados de macronutrientes y micronutrientes, la concentración de los elementos descritos varió de manera muy considerable, obteniendo una mayor concentración en los lodos residuales, tal y cual nos describe (Cuevas et al. 2006, p. 2) en su investigación.

Lo descrito anteriormente también ocurrió en los metales pesados que se analizaron, esto, ya que los lodos residuales contaron con una elevada cantidad de contaminantes; el plomo tuvo un valor muy alto, la razón de esto se explicó ya en apartados anteriores.

Como mencionamos anteriormente, los polifenoles tienen una gran correlación con el IG, debido a que los primeros nos indican el nivel de fitotoxicidad, por lo que, en el residuo de cebada, al existir una elevada cantidad de polifenoles, se pudo observar que el IG no sobrepasó el 0,1 %, mientras que el residuo de lodo, contó con una concentración más baja de polifenoles, y por tanto superó el 60%.

3.3. Evolución de las temperaturas en las pilas de compostaje

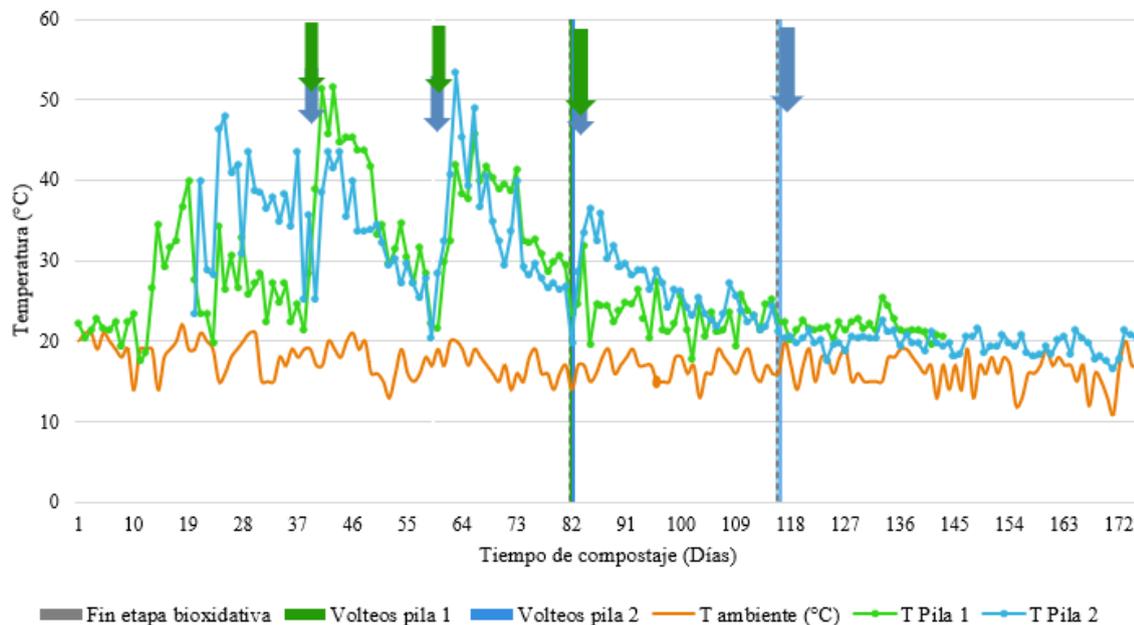


Figura 1-3: Perfiles de temperatura de pila 1 y 2 a través del proceso de compostaje. Las flechas indican los días de volteo

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

En la figura 1-3 se observa que, en la pila 1 y 2 se realizaron un total de 3 y 4 volteos, respectivamente en base a la evolución de la temperatura, cuyo proceso se encuentra descrito en el apartado de metodología. Según (Idrovo et al. 2018, p. 390) cada volteo es realizado con la finalidad de reducir el nivel de compactación, aumentar la homogeneidad y re-inoculación de sustratos. Esto es confirmado por (Haug 1993, p. 532), en donde también se indica que los volteos tienen la finalidad de controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila.

(Idrovo et al. 2018, p. 390), en su artículo “Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts”, aseguran que; la fase activa termina cuando la temperatura de las mezclas se encuentra cercana a la temperatura ambiente y no existe recalentamiento, en nuestro proyecto esto ocurrió en el día 83 y 99 respectivamente. En ese momento se detuvieron los volteos y el compost empezó su proceso de maduración. El contenido de humedad durante todo el proceso fue $> 40\%$.

El perfil de temperatura fue similar en ambas pilas durante todo el proceso de compostaje, con incrementos al inicio y después de cada volteo, esto también ocurre en la investigación de (Gavilanes et al. 2016, p. 129). La fase termófila duró aproximadamente 74 y 69 días para la pila 1 y 2, respectivamente. Con una temperatura máxima promedio de $52,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Estos resultados se verifican en la investigación realizada por (Vicencio et al. 2011, p. 264), en donde se explica que la actividad de los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje

genera calor, lo que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 °C. Esto destruye a los patógenos, lo cual es muy relevante en nuestra investigación debido al uso de lodos residuales.

3.4. Degradación de la materia orgánica

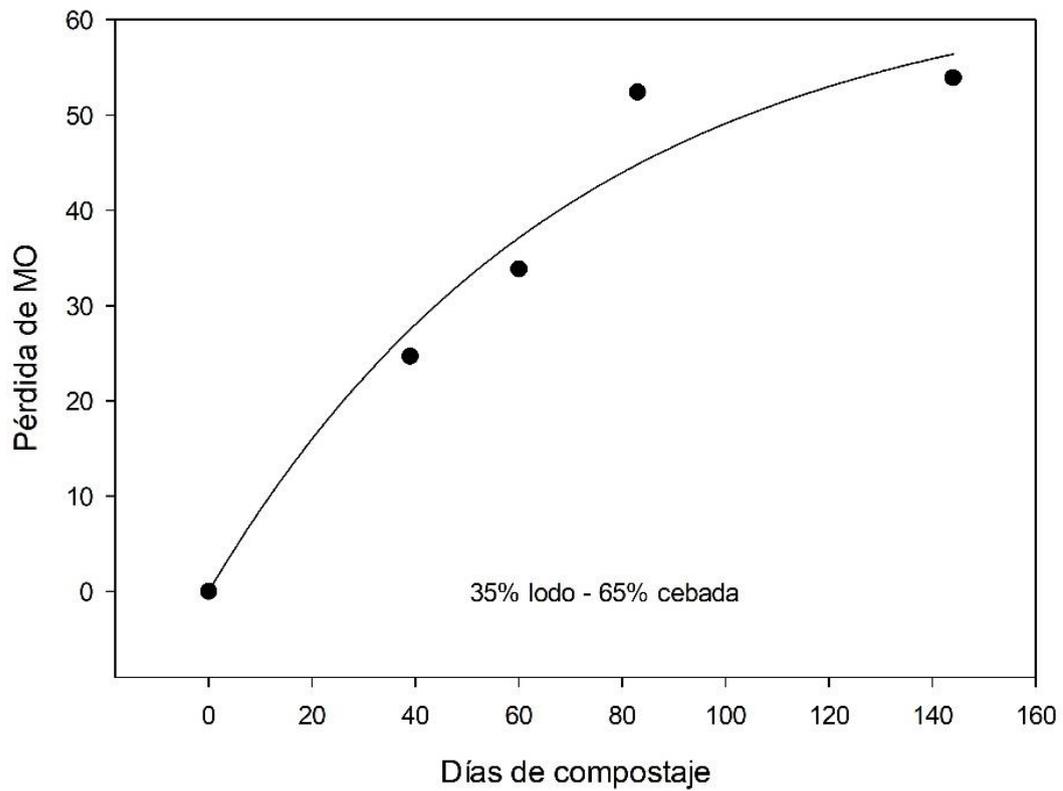


Figura 2-3: Perdidas de materia orgánica (MO) durante el compostaje de la pila 1. La línea representa el ajuste de la curva

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan; Idrovo, Julio, 2022.

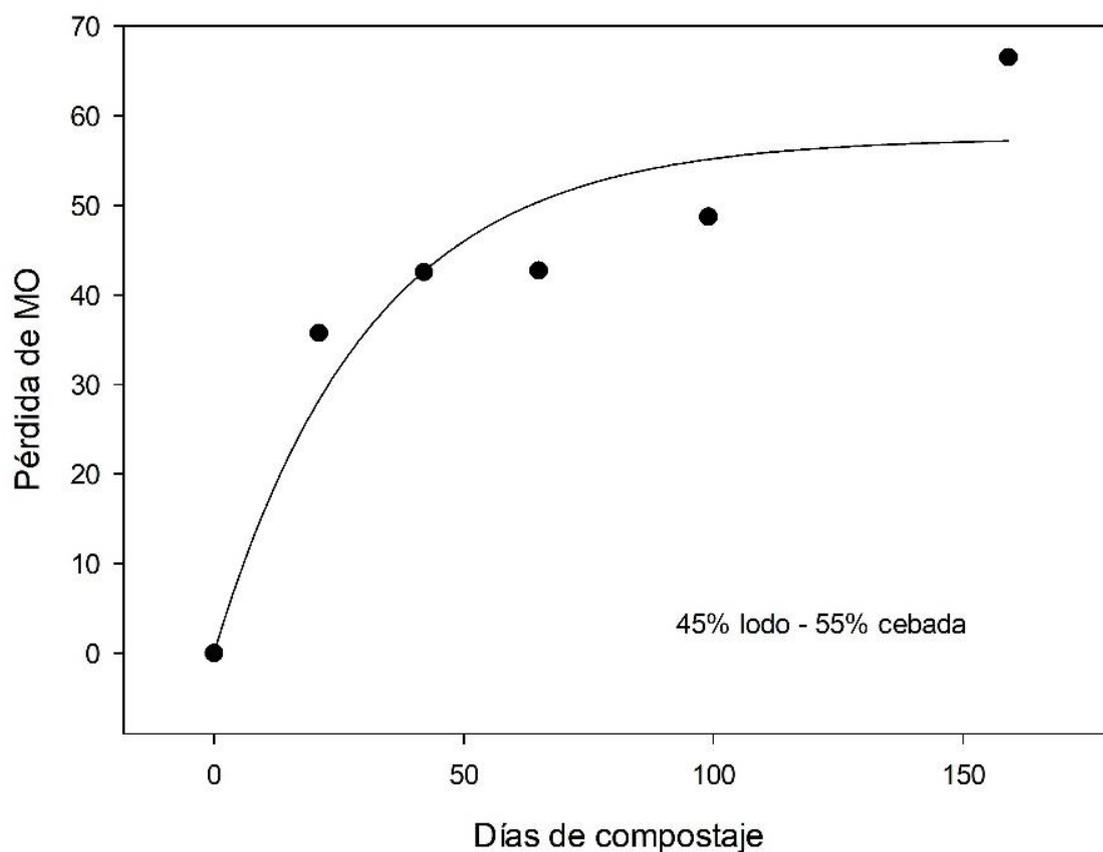


Figura 3-3: Perdidas de materia orgánica (MO) durante el compostaje de la pila 2 La línea representa el ajuste de la curva

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan; Idrovo, Julio, 2022.

La descomposición de la MO provocó un considerable aumento de pH en ambas pilas, lo mismo se observó en la investigación de (Idrovo et al. 2018), en donde se indica que esto ocurre por la degradación de compuestos ácidos y la transformación de nitrógeno orgánico a NH_3 . Por otro lado, se produjo un ligero aumento de la CE, algo que también sucede en la investigación de dichos autores.

Según lo que se observa en la tabla 4-3, el contenido de MO disminuyó con el tiempo, de 82,20 y 79,79 % a 70,65 y 56,92 % en las pilas 1 y 2, respectivamente. En las dos pilas, durante la fase biooxidativa se presentó una pérdida del 52,44 y 48,73 % de MO, esto se muestra en las figuras 1-3 y 2-3; aquí también podemos deducir que las pérdidas durante la etapa de maduración son bastante bajas.

Sin embargo, se puede observar que las pilas 1 y 2 alcanzaron un porcentaje de pérdida de 53,93 y 66,54 %, respectivamente al final del proceso. Evidenciando así, que existió un mayor porcentaje de mineralización en la pila 2, gracias a la utilización de una menor proporción de residuos de cebada; debido a que estos poseían una elevada cantidad de MO. A pesar de esto, se puede denotar que la pila 1 presentó una mayor estabilidad una vez finalizada la fase biooxidativa

(figura 2-1).

La pérdida de la MO durante el proceso de compostaje fue ajustada a una relación cinética de primer orden, $MO_{\text{perd}}=A(1-e^{-kt})$, dando los siguientes valores (desviación estándar entre paréntesis, A=máxima degradación de la materia orgánica, k= constante de velocidad de degradación, t=tiempo, SSE: error estándar de estimación, y **: significancia de $P<0,01$)

Pila 1: A=64,86 (12,38), k=0,0142 (0,0054), RMS=0,9788, F=68,53**, SEE= 5,25

Pila 2: A=57,55 (6,50), k=0,0322 (0,0118), RMS=0,9481, F=35,56**, SEE=7,81

En ambas ecuaciones se encontró un alto nivel de significancia ($P<0,01$), sin embargo, los resultados de la pila 1 se ajustaron mejor que los obtenidos en la pila 2, esto ocurrió debido a que en la pila 2 los valores de F y RMS fueron más bajos, mientras que el valor de SEE fue mayor; datos que coinciden con la investigación de (Gavilanes et al. 2016). Por otro lado, los valores de A, se permanecieron por debajo de los rangos reportados por los mismos autores, lo mismo que ocurrió con los valores de k.

3.5. Evolución de los principales parámetros dentro del proceso de compostaje

Tabla 4-3: Evolución de los principales parámetros durante el proceso de compostaje (sms)

Compostaje (días)	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	C _{org} /NT	NT (g Kg ⁻¹)	Polifenoles (mg Kg ⁻¹)	IG (%)
Pila 1: 35% R-ML + 65% R-CEB							
0	5,77±0,03	1,54±0,03	82,20±0,83	27,66±0,14	11,00±0,2	9013,33±60	22,52±0,14
39	7,62±0,04	2,05±0,06	81,12±0,39	33,38±0,29	16,30±0,2	6580±20	47,29±0,61
60	7,47±0,07	2,45±0,05	77,28±2,28	60,03±0,67	6,70±0,1	5593,33±80	46,68±0,57
83	7,34±0,05	3,13±0,05	72,08±1,73	68,02±0,21	6,90±0,1	3653,33±20	67,04±1,28
Maduro	7,39±0,02	2,79±0,02	70,65±1,41	15,27±0,04	14,16±0,1	2926,67±40	84,39±0,59
DMS	2,70	0,08	0,08	0,63	0,30	90	1,34
Pila 2: 45% R-ML + 55% R-CEB							
0	6,75±0,05	3,34±0,02	79,79±0,12	30,32±0,99	10,17±0,7	8466,67±120	23,24±0,18
21	7,46±0,05	2,55±0,11	71,73±3,00	30,16±1,22	13,06±0,9	6343,33±30	27,77±0,32
42	7,77±0,01	3,35±0,13	69,39±3,18	45,29±1,12	11,08±0,8	5530±170	58,46±0,64
65	6,95±0,01	3,47±0,01	69,33±1,02	14,59±0,56	26,67±0,6	2723,33±20	72,31±0,84
99	7,95±0,07	2,84±0,02	66,93±0,89	26,94±0,50	11,31±0,4	2660±70	66,19±0,68
Maduro	7,39±0,05	3,49±0,03	56,92±1,26	5,10±0,31	49,63±1,3	2473,33±50	82,83±0,77
DMS	0,08	0,12	3,45	1,52	1,50	170	1,10

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: Los números de días corresponden a los días en los que realizaron los volteos. DMS: Diferencia mínima significativa. Para abreviaturas ver la tabla 2-3

Debido a la degradación de la MO pudimos observar el aumento de pH en ambas pilas de compostaje, mostrando valores finales de 7,39, valor que se encuentra dentro del intervalo de 6,0-7,5; a la vez que se evidenció un ligero aumento en la CE, (Acosta et al. 2012, p. 22) explica que esto se debe a la mineralización de N, el incremento en la CE concuerda con el incremento del contenido de nitratos (NO_3^-) durante el proceso; estos valores son $< 5 \text{ dS m}^{-1}$, valores sugeridos por el US Compost Council para un compost de calidad.

La relación de C_{org}/NT en la pila 1 se redujo hasta un valor final < 20 , (Bernal, Albuquerque y Moral 2009, p. 5450); mencionan que esto es un buen indicativo de calidad del compost, en la pila 2 el valor final fue < 10 , los mismos autores indican que este valor es preferible. En la pila 1 se observó un ligero aumento de NT, mientras que el aumento en la pila 2 fue considerable, según (Gavilanes et al. 2016), la concentración de NT suele aumentar durante el compostaje como consecuencia de un efecto de concentración, debido a la pérdida neta de masa seca como CO_2 , así como a la pérdida de agua por evaporación debido al desprendimiento de calor durante la oxidación de MO.

El contenido de polifenoles disminuyó notablemente, lo cual indicó la detoxificación de los materiales iniciales, lo cual está muy relacionado con el IG, y se observó en los resultados del compost maduro, los cuales en ambas pilas están alrededor del 80 %, (Zucconi et al. 1981) aclara que valores superiores al 50 % indican ausencia de fitotoxicidad.

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

	Cl^- (mg kg^{-1})	SO_4^{2-} (mg kg^{-1})	NO_3^- (mg kg^{-1})	PO_4^{3-} (mg kg^{-1})
Pila 1: 35% R-ML + 65% R-CEB				
Inicial	850,16 \pm 0,19	6198 \pm 0	230 \pm 0	1275 \pm 49,5
Maduro	106,34 \pm 0	15486 \pm 0	360 \pm 0	1299 \pm 0
Pila 2: 45% R-ML + 55% R-CEB				
Inicial	1133,95 \pm 0,48	5998 \pm 0	205 \pm 7,07	1235 \pm 21,21
Maduro	106,3 \pm 0	15488 \pm 0	380 \pm 0	1159 \pm 42,43

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: Para abreviaturas ver la tabla 2-3

Según los resultados de la tabla 5-3, se evidenció un aumento en los SO_4^{2-} y NO_3^- , (Brito et al. 2016, p. 86), indica que los valores altos de estos aniones están relacionados con un incremento en los valores de CE (ver tabla 3-3), como consecuencia de la mineralización de los elementos o por el lavado de las sales formadas debido a los riegos realizados para mantener la humedad de las pilas durante el proceso de compostaje. los valores de PO_4^{3-} en ambas pilas permanecieron estables. Se dio una reducción de Cl^- , esto debido a que, este anión generalmente es muy poco absorbido o muy poco retenido, siendo fácilmente lixiviado como nos detalla (Guerrero et al. 2010, p. 112), en su investigación.

3.6. Contenido de nutrientes vegetales y metales pesados

Tabla 6-3: Concentración de nutrientes y metales pesados en compost maduros

	Compost 1	Compost 2	Directrices* EE. UU	Directrices* Europeas	Criterios ecológicos para mejoradores de suelos*
MO (%)	70,65±1,41	56,92±1,26	50-60	>15	>20
Macronutrientes (g Kg⁻¹)					
NT	14,16±0,1	49,63±1,3	>10	-	<30
P	2,085±0,007	2,643±0,012	>10	-	-
Na	0,786±0,009	0,986±0,012	-	-	-
K	11,53 ±0,064	22,94±0,066	-	-	-
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	671,80±15,88	559,35±19,55			
Mn	203,97±0,44	259,51±7,45			
Cu	32,39±0,2	56,37±0,52	1500	300	
Zn	25,44±0,34	35,74±0,73	2800	800	
Metales pesados (mg Kg⁻¹)					
As	<0,15	<0,15	41	40	10
Se	<0,25	<0,25	100	-	1,5
Cd	<0,25	<0,25	39	2	1
Hg	<0,05	<0,05	17	1	1
Pb	2,34±0,25	3,6±0,44	300	120	10

Realizado por: Chuquizala, Diana; Sánchez, Brayan, 2022.

Nota: Para abreviaturas ver la tabla 2-3. * De acuerdo a US Composting (2001), * De acuerdo a European Comision (2014), * De acuerdo a Ecological criterio to soil improvers (2006)

La MO en el compost obtenido en la pila 1 se encontró fuera de los límites de las directrices americanas, mientras que el de la pila 2 estuvo dentro de los mismos, ambos compost superaron el contenido mínimo establecido por las directrices europeas para un compost de calidad y criterios ecológicos para el mejoramiento de suelos.

Las concentraciones de macronutrientes fueron mejores en la pila 2, sin embargo, la concentración de N_T fue más alta que el límite establecido por los criterios ecológicos para mejoradores de suelos. La concentración de P en ambas pilas se encontró por debajo del valor recomendado por la directriz americana. La concentración de K fue alta, lo mismo ocurre en la investigación de

(Acosta et al. 2012, p. 23), en donde se indica que esto es favorable, debido a que este macronutriente es importante para las plantas.

Respecto a las concentraciones de micronutrientes, éstas también fueron mayores en el compost 2, en ambas pilas estas concentraciones decrecieron el siguiente orden $Fe > Mn > Cu > Zn$. Los contenidos de Cu y Zn se encontraron por debajo de los límites establecidos por las directrices ya mencionadas.

En el compost final no se detectaron metales pesados como: As, Se, Cd y Hg; el Pb si fue detectado, sin embargo, éste no excede la concentración máxima permitida por las directrices, lo que nos garantiza el uso agrícola de este compost.

CONCLUSIONES

- Gracias a la técnica de compostaje se trataron los lodos procedentes de la PTAR “Barrios Pifo”, utilizados a causa de su disponibilidad, ya que en esta planta se generan 2,4 ton/mes de estos residuos. Los compost obtenidos al final del proceso son aptos para el uso en suelos agrícolas, siendo el compost 2 la mejor opción, debido a su menor contenido de MO. A la vez se observó ausencia de metales pesados al final del proceso, esto según diversos autores ocurre gracias a la inmovilización de estos compuestos que se da en las diversas etapas del proceso de compostaje. Con los resultados obtenidos podemos concluir que el compost derivado de lodos residuales mezclado con otro residuo orgánico (residuo de cebada) es un material con alto contenido en nutrientes, libre de compuestos potencialmente tóxicos, que puede ser utilizado en suelos agrícolas mejorando sus propiedades y la productividad de los mismos.
- Se estableció la revisión ambiental inicial de la PTAR “Barrios Pifo”, en el cual se pudo observar un sistema de tratamiento adecuado en donde se procesan 350 m³/día de agua. Los análisis de laboratorio nos indican los detalles ambientales, mismos en los que todos los resultados se encuentran dentro los límites permisibles para las descargas a cuerpos de agua dulce establecidos por la normativa ambiental vigente, a excepción del fósforo total. Gracias a estos análisis también se pudo demostrar que la PTAR “Barrios Pifo”, arroja valores de remociones estables en el tiempo durante los diferentes muestreos. En cuanto a los lodos generados, se encontraron elevadas humedades y cantidades de metales pesados, por lo que se concluye que es importante una estabilización antes de su disposición final.
- En la elaboración de las pilas de compostaje se utilizó un sistema windrow, para lo cual se realizaron 2 pilas, una utilizando un 35% de residuos de lodo y un 65 % de residuos de cebada, y la pila 2 con 45 % de residuos de lodo y 55 % de residuos de cebada. Se decidió el uso de estos porcentajes después de la caracterización inicial de los residuos, siendo la humedad y la relación C/N los valores más relevantes para estos cálculos. Ambas pilas fueron monitoreadas periódicamente, mediante la medición diaria de temperaturas y humedades; y con un control de parámetros físico-químicos, químicos y biológicos en laboratorio al inicio del proceso, en cada volteo, al inicio y al final de la etapa de maduración.
- Gracias los análisis de laboratorio se evaluó la calidad del compost obtenido, en donde se encontró una degradación importante de la MO, siendo mayor en la pila 2 con un 66,54 %. También evidenciamos una disminución en los polifenoles, y con esto un aumento en el índice de germinación, el cual en ambas pilas superó el 50 %. Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros se encuentran dentro los valores óptimos para un compost de calidad, pudiendo ser aprovechado para el uso agrícola, sin embargo, en la pila 1 se evidencia una elevada MO, mientras en la pila 2 ocurre lo mismo con el NT. Los demás nutrientes y metales

pesados se encuentran dentro de los límites establecidos por las directrices estadounidenses y europeas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la ejecución de proyectos en donde se involucre la utilización del compost proveniente de lodos residuales en suelos degradados del sector dándoles así un aprovechamiento, lo cual nos ayuda a elevar la calidad del suelo agrícola, contribuyendo de manera real a la solución de problemas ambientales.
- Se recomienda gestionar de manera adecuada los lodos provenientes de la planta de tratamiento mediante el uso de técnicas biotecnológicas como la presentada en este trabajo de titulación.
- Es recomendable dar seguimiento diario a los parámetros físicos que intervienen en el proceso de compostaje en una hora determinada del día para obtener valores confiables evitando así errores comunes de parte del muestreador.
- Se aconseja implementar proceso en diversos cantones de la provincia donde se disponga de una planta de tratamiento de aguas residuales con los mismos residuos utilizados en el presente trabajo para corroborar su eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Y., ZÁRRAGA, A., RODRÍGUEZ, L. y ZAUAHRE, M., Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias* [en línea], vol. 12, pp. 18–24. 2012. ISSN 1317-2255. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90431109003.pdf>.

ÁLVAREZ, J., *Manual de compostaje para la agricultura ecológica* [en línea]. Consejería. Andalucía: s.n. 2014. Disponible en: http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4493509%0Ahttp://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/produccion/boletines/boletin_compostajecompleto.pdf.

AMADOR, A., VELIZ, E. y BATALLER, M., Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* [en línea], vol. 46, pp. 1–10. 2015. ISSN 1015-8553. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>.

ARGÜELLO, J. y TERÁN, C., Gestión de agua potable y alcantarillado. [en línea]. S.l.: 2019. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2019/Agua_potable_alcantarillado_2019/DOCUMENTO METODOLOGICO APA 2019_rev_corregido1.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2019/Agua_potable_alcantarillado_2019/DOCUMENTO_METODOLOGICO_APA_2019_rev_corregido1.pdf).

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE DEL ECUADOR, *Constitucion de la republica del ecuador* [en línea]. eSilec Pro. Quito: s.n. 2011. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf.

BAHAMÓN, D., *Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del minicipio de Sopó Cundinamarca para la produccción de un fertilizante organo-mineral* [en línea]. S.l.: Universidad de América. 2019. Disponible en: [https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria_lodos_y_biosolidos/4_Informe Lodos ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173](https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria_lodos_y_biosolidos/4_Informe_Lodos_ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173).

BELLO, Y. y LARA, R., Evaluación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa tabacalera. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuel* [en línea], vol. 21, pp. 101–109. 2006. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652006000100010.

BELZONA, *Guía de aplicaciones Belzona en equipos de tratamiento de aguas residuales* [en línea]. S.l.: s.n. 2010. Disponible en: https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf.

BERNAL, M.P., ALBURQUERQUE, J.A. y MORAL, R., Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 100, no. 22, pp. 5444–5453. 2009. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2008.11.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.

BRITO, H., VITERI, R., GUEVARA, L., VILLACRÉS, M., JARA, J., SILVIO, J., MOYA, P. y PARRA, C., Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba”. *European Scientific Journal, ESJ* [en línea], vol. 12, no. 29, pp. 76–94. 2016. ISSN 18577881. DOI 10.19044/esj.2016.v12n29p76. Disponible en: <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/8200/7914>.

CABRERA, W., *Empleo de lixiviados para compostar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios de la ciudad de Sucúa, mediante las técnicas de takakura y de vermicompostaje*. [en línea]. S.l.: 2018. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10148>.

CARRERA, D.V., CRISANTO, T., ORTEGA, H., RAMÍREZ, J., ESPINOSA, D., RAMÍREZ-AYALA, C., RUIZ-VERA, V., VELÁZQUEZ, M. y SÁNCHEZ, E., Salinidad cuantitativa y cualitativa del sistema hidrográfico Santa María-Río Verde, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], vol. 6, no. 2, pp. 69–83. 2015. ISSN 20072422. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n2/v6n2a5.pdf>.

CASTILLO, J., BALAREZO, L., VINCES, M. y ZAMBRANO, H., Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista RIEMAT* [en línea], vol. 5, pp. 23–27. 2020. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2499/2672>.

CONAGUA, *Manual de agua potable , alcantarillado y saneamiento*: [en línea]. Secretaría. México D.F.: s.n. 2015. ISBN 9786076260043. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA_2015_Manual_Tratamiento_y_Disposicion_de_Lodos_32.pdf.

COOTAD, *Codigo organico de organizacion territorial, COOTAD* [en línea]. eSilec. Quito: s.n.

2019. Disponible en: <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>.

CUEVAS, J., SEGUEL, O., ELLIES, A. y DÖRNER, J., Efectos De Las Enmiendas Orgánicas Sobre Las Propiedades Físicas Del Suelo Con Especial Referencias a La Adición De Lodos Urbanos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* [en línea], vol. 6, no. 2, pp. 1–12. 2006. DOI 10.4067/s0718-27912006000200001. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n2/art01.pdf>.

CUPE, B. y JUSCAMAITA, J., Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada* [en línea], vol. 17, no. 1, pp. 22. 2018. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/341/34157105012/34157105012.pdf>.

DOCAMPO, R., La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción agrícola. *INIA Las Brujas- Estación Experimental “wilson Ferreira Aldunate”* [en línea], pp. 81–89. 2015. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

EPA, *Field guide to compost use* [en línea]. The US Com. Cary, North Carolina: s.n. 2001. Disponible en: <http://www.mncompostingcouncil.org/uploads/1/5/6/0/15602762/fgcu.pdf>.

ETAPA P, Plan de Maestro de Gestión de Biosólidos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Cuenca, Fase 1 Prefactibilidad. [en línea]. Cuenca: 2019. Disponible en: https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoria_lodos_y_biosolidos/4_Informe_Lodos_ETAPA.pdf?ver=2021-01-14-214624-173.

GAD PIFO, *Actualización de plan de ordenamiento territorial de la parroquia de: Pifo* [en línea]. Quito: s.n. 2015. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768100170001_1768100170001_24-06-2015_16-51-47.pdf.

GAVILANES, I., JARA, J., IDROVO, J., BUSTAMANTE, A., MORAL, R. y PAREDES, C., Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador. *Waste Management*, vol. 48, pp. 127–134. 2016. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2015.11.026.

GIMÉNEZ, P., *Efectos sobre el sistema del suelo-plantas de lodo anaerobio. Comparación con*

un fertilizante tradicional de la comarca de Cartagena [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Cartagena. 2010. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1786/pfm101.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

GUALOTO, J., *Propuesta de gestión de lodos Residuales municipales. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua residual de la parroquia rural de Nono*. [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Nacional. 2016. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17066/1/CD-7650.pdf>.

GUERRERO, C., GÓMEZ, I., MATAIX, J., DÍAZ, C. y MORAL, R., *Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de la conductividad eléctrica, sulfatos y cloruros* [en línea]. 2010. S.l.: s.n. 2010. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo3b/articulo109.pdf>.

GUERRERO, M., *El agua* [en línea]. México: s.n. 2010. ISBN 9786071603548. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/72081>.

HAUNG, R., *The practical handbook of compost engineering*. [en línea], pp. 752. 1993. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/The_Practical_Handbook_of_Compost_Engine.html?hl=es&id=MX_jbemODmAC&redir_esc=y.

HOLGUÍN, E., MORALES, Mayra, VICENCIO, M. y MORALES, María, *Lodos residuales: Métodos de tratamientos, estabilización y aprovechamiento. Vidsupra* [en línea], vol. 6, pp. 61–66. 2014. Disponible en: [https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24059/1/VIDSUPRA VOL 6 NUM 2.pdf#page=17](https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24059/1/VIDSUPRA_VOL_6_NUM_2.pdf#page=17).

IDROVO, J., GAVILANES, I., BUSTAMANTE, A. y PAREDES, C., *Composting as a method to recycle renewable plant resources back to the ornamental plant industry: Agronomic and economic assessment of composts. Process Safety and Environmental Protection* [en línea], vol. 116, pp. 388–395. 2018. ISSN 09575820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.012>.

LAZCANO, C., *Bioteología ambiental de aguas y aguas residuales* [en línea]. ECOE Edici. S.l.: s.n. 2016. ISBN 9789587713459. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/122526>.

MAE, *Acuerdo Ministerial 097-A* [en línea]. LEXIS. Quito: s.n. 2015. Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf.

MÁRQUEZ, P., DÍAZ, M. y CABRERA, F., Factores que afectan al proceso de Compostaje. *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla* [en línea], pp. 1–16. 2012. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores que afectan al proceso de compostaje.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf).

MENÉNDEZ, C. y PÉREZ, J., *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales* [en línea]. S.l.: s.n. 2007. ISBN 9789590703393. Disponible en: [https://www.academia.edu/33133551/Procesos_para_el_tratamiento_biológico_de_aguas_residuales_industriales_Carlos_M_Gutiérrez](https://www.academia.edu/33133551/Procesos_para_el_tratamiento_biol%C3%B3gico_de_aguas_residuales_industriales_Carlos_M_Guti%C3%A9rrez).

MENG, L., LI, W., ZHAO, Y., CHEN, L., ZHANG, S. y ZHANG, X., Insights into influences of sucrose amendment on nitrification and denitrification in sewage sludge composting. *Chemosphere*, vol. 276, no. 2602, pp. 276. 2021. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.130245.

MIRANDA, R., OLIET, M., PÉREZ, M., ALONSO, M., MADRID, Y., DOMÍNGUEZ, J. y GARCÍA, P., *Tratamiento de aguas: ejercicios resueltos y prácticas de laboratorio* [en línea]. Dextra. Madrid: s.n. 2018. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/133347>.

MONTAGUANO, M., *Valorización del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa EMMAIT-EP del cantón Pelileo provincia de Tungurahua* [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/10575/1/236T0419.pdf>.

MORILLO, L., NARANJO, D., PÉREZ, J., VILLACIS, W., VARGAS, P. y MUÑOZ, F., Reduction of surfactants and coliforms in domestic wastewater by fenton processes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 35, no. 4, pp. 931–943. 2019. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2019.35.04.12.

MUNICIPIO DE QUITO, *Plan metropolitano De desarrollo de Quito* [en línea]. Diego Torr. Quito: s.n. 2020. ISBN 9789978999585. Disponible en: https://www.quito.gob.ec/documents/Plan_Metropolitano_desarrollo_2012-2022.pdf.

NAVAS, E., *Calidad de aguas: Usos y aprochamientos* [en línea]. ICB. Málaga: s.n. 2017. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/113231>.

OROPEZA, N., Lodos residuales : estabilización y manejo. *Caos Conciencia* [en línea], vol. 1, pp. 51–58. 2006. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf.

PALACIOS, A., *Estabilización y manejo de lodos residuales en la Planta de Tratamiento Municipal. Portoviejo* [en línea]. S.l.: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2021. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27423/1/T-ESPE-018129.pdf>.

PASCUAL, J., MORENO, J., ROS, M. y VARGAS, M., *De residuo a recurso: El camino hacia la sostenibilidad* [en línea]. Multi-Pren. Madrid: s.n. 2015. ISBN 978-84-8476-567-7. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/55256>.

PIREÑO, M.P., PARRA, C., BARBOSA, Y., PÉREZ, M. y OTEGA, J., Efecto combinado de la imbibición y la germinación sobre la calidad del quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp .) Combined effect of imbibition and germination on the quality of the pigeon pea (*Cajanus cajan* (L) Millsp .). *Ciencia 21* [en línea], vol. 21, pp. 192–200. 2013. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/18749/18731>.

RAFER, Determinación de carbono total y carbono orgánico. [en línea]. S.l.: 2019. Disponible en: https://www.rafer.es/sites/default/files/toc_y_tc_en_suelos_y_lodos.pdf.

RAMIREZ, L., *No Titlebiotransformación de lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales domésticas*. S.l.: 2020. Universidad Santo Tomás.

RAMÍREZ, L., DURÁN, M.C., GARCÍA, J., MONTUY, R. y OAXACA, M., *Demanda química de oxígeno de muestras acuosas* [en línea]. México: s.n. 2008. ISBN 9683690009. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>.

RODRÍGUEZ, Alexis, ROBLES, C., RUIZ, R., LÓPEZ, E., SEDEÑO, J. y RODRÍGUEZ, Angélica, Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitori de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminacion del Ambiente* [en línea], vol. 30, no. 3, pp. 307–316. 2014. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n3/v30n3a7.pdf>.

RODRIGUEZ, J., *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Madrid. 2010. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>.

ROJAS, F. y ZELEDÓN, E., *Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional Agraria. 2007. Disponible en: https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnq02r741.pdf%0Ahttps://www.academia.edu/35605609/UNIVERSIDAD_nacional_agraria_facultad_de_agronomía_departamento_de_producción_vegetal_texto_basico_de_agroecología_iii_año_de_ingeniería_agronomica_generalista_preparado_por.

ROMÁN, P., MARTÍNEZ, M. y PANDOJA, A., *Manual de compostaje del agricultor* [en línea]. Organización Santiago de Chile: s.n. 2013. ISBN 9789253078448. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

SAVEYN, H. y EDER, P., *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals*. Publicatio. Luxembourg: s.n. 2014. ISBN 9789279350627.

SEVERICHE, C., CASTILLO, M. y ACEVEDO, R., *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas* [en línea]. Fundación. Cartagena de Indias: s.n. 2013. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>.

SOLIVA, M., *Materia orgánica y compostaje. control de la calidad y del proceso. Jornada Técnica: Fertilidad y calidad del suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera* [en línea], pp. 1–19. 2011. Disponible en: <https://1library.co/document/yjv03r2y-materia-orgánica-compostaje-control-calidad-proceso.html>.

SUAREZ, D., *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. [en línea]. S.l.: 2006. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>.

TORRENTÓ, M., *Materia orgánica y compostaje. control de la calidad y del proceso. Fertilidad y Calidad del Suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera*. [en línea], pp. 1–20. 2011. Disponible en: <https://1library.co/document/yjv03r2y-materia-orgánica-compostaje->

control-calidad-proceso.html.

TORRES, G.F., *Tratamiento De aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros* [en línea]. S.l.: Universidad De Las Palmas De Gran Canaria. 2014. Disponible en: Universidad De Las Palmas De Gran Canaria.

TORRES, P., ESCOBAR, J., PÉREZ, A., IMERY, R., NATES, P., SÁNCHEZ, G., SÁNCHEZ, M. y BERMÚDEZ, A., Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. *Ingeniería e Investigación* [en línea], vol. 25, no. 2, pp. 54–61. 2005. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v25n2/v25n2a07.pdf>.

TORRES, P., PÉREZ, A., ESCOBAR, J., URIBE, I. y IMERY, R., Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Engenharia Agrícola* [en línea], vol. 27, no. 1, pp. 267–275. 2007. DOI 10.1590/s0100-69162007000100021. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/wcTXZFrqkXkhS36V9DKGw/?lang=es&format=pdf>.

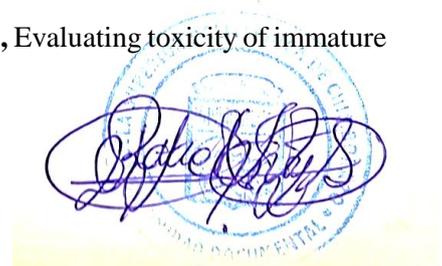
VICENCIO, G., PÉREZ, E., MEDINA, E. y MARTÍNEZ, A., Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], vol. 27, no. 3, pp. 263–270. 2011. ISSN 01884999. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n3/v27n3a11.pdf>.

WIKI, *Ingeniería de aguas residuales* [en línea]. Ed. Madrid. S.l.: s.n. 2022. ISBN 97814492211493. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/35813>.

XIAO, Y., RAHEEM, A., DING, L., CHEN, W.H., CHEN, X., WANG, F. y LIN, S.L., Pretreatment, modification and applications of sewage sludge-derived biochar for resource recovery- A review. *Chemosphere*, vol. 287, no. P1. 2022. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.131969.

ZAUHRE, E., ACOSTA, Y., PAOLINI, J., FLORES, S., BENZO, Z. y ZAUHRE, M. El, Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias* [en línea], vol. 3, no. 1. 2003. ISSN 1317-2255. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90430107.pdf>.

ZUCCONI, F., PERA, A., FORTE, M. y DE BERTOLDI, M., Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, pp. 54–57. 1981.



ANEXOS

ANEXO A: OFICIO AVAL DEL GAIBAQ



Febrero, 09 de 2022

Ingeniero

Andrés Beltrán

**PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Presente

De mi consideración:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para poner en su conocimiento que el Proyecto de titulación denominado **"TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN RUMIÑAHUI MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE"** presentado por la Srta. DIANA CAROLINA CHUQUIZALA ERAZO y Sr. BRAYAN ANDRÉS SÁNCHEZ ANDRANGO ha sido revisado y dirigido por mi persona, además de que cuenta con el aval, y el asesoramiento científico, tecnológico y económico del Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química **"GAIBAQ"** de la Facultad de Ciencias, además de que forma parte del proyecto titulado: **"DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.**

Por tal razón solicito que como Directora del trabajo de titulación sea mi persona y como Miembro el **Ing. Víctor Hugo Valverde, MSc**, miembro del grupo de investigación mencionado.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**IRENE DEL CARMEN
GAVILANES TERAN**

Dra. Irene Gavilanes, PhD
DIRECTORA DEL GRUPO GAIBAQ

ANEXO B: OFICIO DE PETICIÓN DE INFORMACIÓN AL GAD RUMIÑAHUI

Quito, 17 de marzo 2022

Señor Ingeniero

Marco Castro

**DIRECTOR DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y COMERCIALIZACION.
GAD. MUNICIPAL RUMIÑAHUI**

Estimado ingeniero, en relación con los trabajos de monitoreo que venimos realizando dentro del trabajo de investigación para la optimización de las PTAR'S y uso de lodos en la recuperación de suelos. Me permito solicitar con previa charla y asesoramiento del ingeniero Nelson Ramiro Pedraza Maigua, designe a quien corresponda, para la entrega de información requerida en torno a los siguientes puntos:

REVISIÓN AMBIENTAL INICIAL (RAI).

- Estudio geográfico de la zona de influencia de las PTAR'S
- Infraestructuras
- Relación de gastos anuales de la empresa respecto a sueldos del personal, consumo de agua, consumo de energía eléctrica, consumo de productos químicos empleados en los tratamientos de las aguas residuales y gestión final de los lodos y aguas depuradas obtenidos
- Origen de las aguas que llegan a la planta depuradora-urbano (barrios y número de habitantes en cada uno de ellos) y/o industrial (indicar tipo de industria)
- Escala de la planta de tratamiento de aguas residuales (basada en el volumen de agua tratada y en el número de habitantes equivalentes tratados (He) (1 He, tiene una carga biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día)
- Sistemas o sistema de tratamiento de aguas residuales que emplea la empresa (tipos de pretratamiento y tratamiento que realiza en las aguas).
- Tipo de estabilización de los lodos (aerobia y/o anaerobia)
- Producción de agua depurada y de lodos
- Disposición de las aguas depuradas y de los lodos

Para eso, pongo en conocimiento que las personas que conformamos el equipo multidisciplinario y que colaborarán en la investigación son: Fernando Armas Vega; Brayan Andrés Sánchez Andrango y Diana Carolina Chuquizala Erazo. Por lo que de acuerdo a las autorizaciones existentes nos pueden hacer llegar dicha información.

En espera de una pronta respuesta, me despido agradeciendo su cordial atención.

Saludos Cordiales,



Fernando V. Armas Vega, Ing. MSc.

CI. 1711257632



ANEXO C: OFICIO PARA INSPECCION AL BARRIO LA MOCA, SECTOR PTAR



Oficio Nro. GADMUR-DAPA-2020-1116-O

Sangolquí, 13 de octubre de 2020

Asunto: INSPECCIÓN AL BARRIO LA MOCA, SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Fernando Vinicio Armas Vega
Presente.

En referencia al oficio s/n, fecha 30 de septiembre del 2020 y trámite GADMUR-DSG-2020-9551-E.

De acuerdo a la inspección realizada el día jueves 08 de octubre del presente al sector del Barrio La Moca, al lugar donde está construido La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con la presencia del solicitante y el técnico de la DAPAC, se realizó un reconocimiento y se observó el funcionamiento de la PTAR.

El personal técnico de Agua Potable Alcantarillado y Comercialización informó a cerca de los requerimientos que solicita sobre la PTAR, para los trabajos de investigación de los activados que genera la (PTAR) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, debiendo comunicar a la DAPAC para coordinar los proximos trabajos sobre la temática.

La DAPAC informa para su conocimiento.

Atentamente,

 Documento Firmado
electrónicamente por
PABLO PATRICIO
GALLARDO SILVA

Ing. Pablo Patricio Gallardo Silva
DIRECTOR DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (E)

Referencias:
- GADMUR-DSG-2020-9551-E

Anexos:
- TR.9551.pdf

NUT: GADMUR-2020-12885

Acción	Siglas Unidad	Fecha	Sumilla
Elaborado por: Hector Lesimaco Oña Maila	DAPA	2020-10-13	

ANEXO D: OFICIO DE SOLICITUD DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES



Oficio Nro. GADMUR-DAPA-2020-1513-O

Sangolquí, 14 de diciembre de 2020

Asunto: SOLICITA AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES (ENTRADA Y SALIDA), LODO Y DEMÁS PARÁMETROS QUE SERVIRÁN PARA DAR ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS DENTRO DE LOS RESULTADOS DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

Señor
Fernando Vinicio Armas Vega
Ciudadano
Presente.

SOLICITA AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES (ENTRADA Y SALIDA), LODO Y DEMÁS PARÁMETROS QUE SERVIRÁN PARA DAR ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS DENTRO DE LOS RESULTADOS DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

En relación a su requerimiento esta Dirección aprueba la investigación de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas y AUTORIZA la entrega de los datos requeridos, así mismo solicita a usted presentar un documento de confidencialidad en el cual se compromete a no divulgar la información entregada, si fuese el caso deberá solicitar una autorización de esta Dirección, adicional a lo mencionado quedara de forma incondicional la entrega del documento final de investigación en archivos editables.

Para el cumplimiento de los requerimientos los técnicos Ing. Hector Oña, Ing Jonathan Nasimba e Ing. Nelson Pedraza coordinaran la entregaran la información solicitada.

Sin mas y para los fines pertinentes

Atentamente,

 Documento Firmado
electrónicamente por
PABLO PATRICIO
GALLARDO SILVA

Ing. Pablo Patricio Gallardo Silva
DIRECTOR DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO (E)

Referencias:
- GADMUR-DSG-2020-11028-E

Anexos:
- TR.11028.pdf

**ANEXO E: OFICIO DE SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN REQUERIDA
PARA LA LINEA BASE E INGRESO A LAS PTAR**



Oficio Nro. GADMUR-DAPA-2021-0352-O

Sangolquí, 11 de marzo de 2021

Asunto: SOLICITA ACCESO A LA INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA LÍNEA BASE E INGRESO A LAS PLANTAS PARA LA TOMA DE MUESTRAS, SEGÚN LO CONVERSADO Y PLANIFICADO CON LOS TÉCNICOS DE LA DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE

Señor
Fernando Vinicio Armas Vega
Ciudadano
Presente.

En referencia al oficio S/N, de fecha 02 de marzo de 2021 y Documento GADMUR-DSG-2021-3744-E, en el que solicitan autorización para el ingreso a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, para continuar con el trabajo experimental de tesis en las PTAR'S de:

Barrio Cuendina Sánchez.
Ejército Nacional.
Barrio La Moca.
Parque Santa Clara del Cantón Rumiñahui.

La DAPAC, informa que se autoriza lo solicitado para lo cual debe contactarse con el Ing. Héctor Lesimaco Oña (telef. 0990580829), Proyectos de Alcantarillado y PTAR'S, para elaborar la programación de las inspecciones a los diferentes sectores.

Además se comunica, que de acuerdo al muestreo que vaya realizando y los respectivos análisis en la parte experimental, una vez finalizado la investigación el equipo multidisciplinario, debe entregar una copia de los resultados y la información no podrá ser publicada ni divulgada sin la respectiva autorización de la DAPAC GADMUR.

Esta Dirección pone en su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente,

 Documento Firmado
electrónicamente por
**MARCO VICENTE
CASTRO CARRERA**

Ing. Marco Vicente Castro Carrera
DIRECTOR DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Referencias:
- GADMUR-DSG-2021-3744-E

Anexos:
- TR.3744.pdf

NUT: GADMUR-2021-9260

Acción	Siglas Unidad	Fecha	Sumilla
Elaborado por: Héctor Lesimaco Oña Maíz	DAPA	2021-03-10	
Revisado por: Pablo Patricio Gallardo Silva	DAPA	2021-03-10	

ANEXO F: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Entrada de agua residual PTAR “Barrios Pifo”



Salida de agua residual PTAR “Barrios Pifo”



Área de secado de lodos PTAR “Barrios Pifo”

ANEXO G: MUESTREOS DE AGUA RESIDUAL



Muestreo agua PTAR “Barrios Pifo”

ANEXO H: MUESTREOS DE LODO RESIDUAL



Muestreo lodos PTAR "Barrios Pifo"

ANEXO I: ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA



pH y conductividad eléctrica



Sólidos sedimentables



Sólidos totales



Oxígeno disuelto



Demanda bioquímica de oxígeno



Demanda química de oxígeno



Fósforo total



Nitrógeno total

ANEXO J: ANÁLISIS DE MUESTRAS DE LODOS



Secado



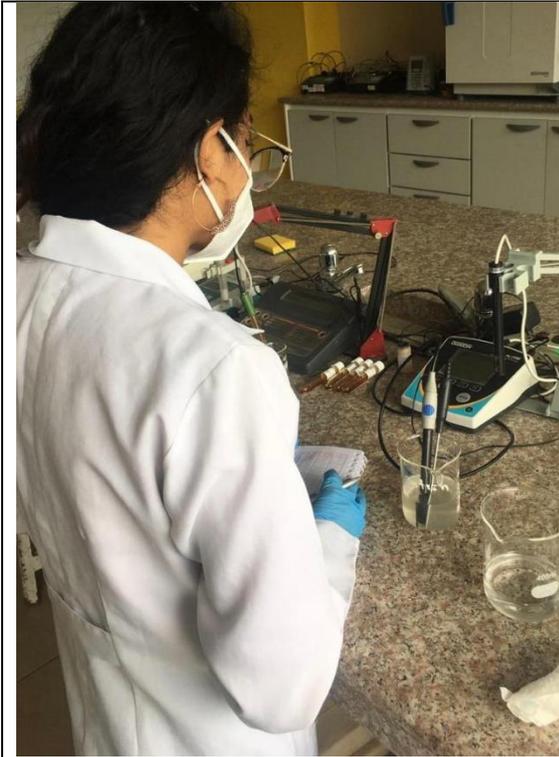
Molienda y tamizaje



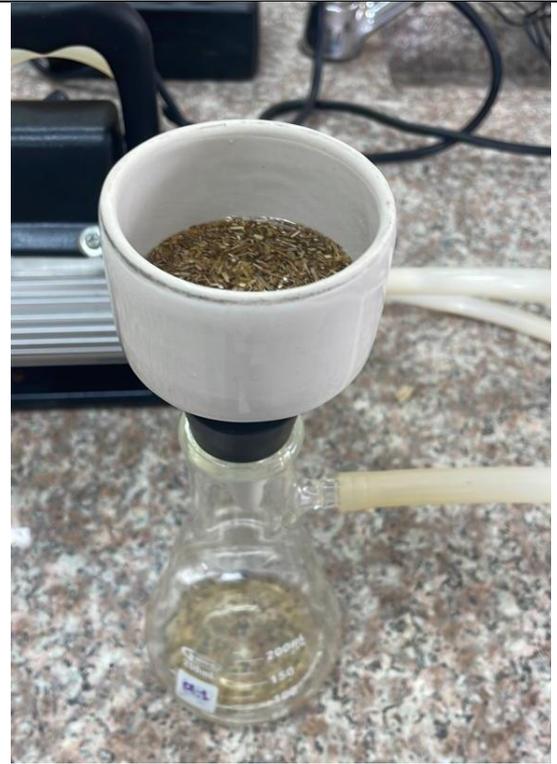
Agitación de muestras



Extractos de muestras



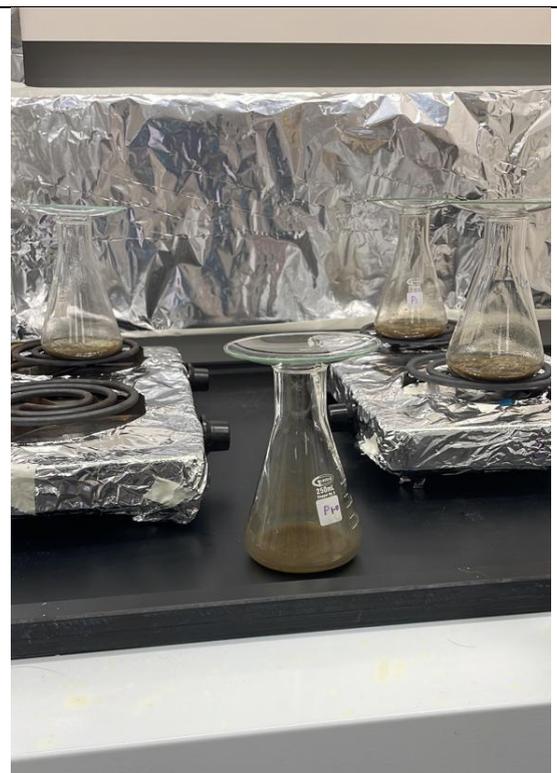
pH y conductividad eléctrica



Filtrado de muestras



Índice de germinación



Digestiones



Filtrado de digestiones



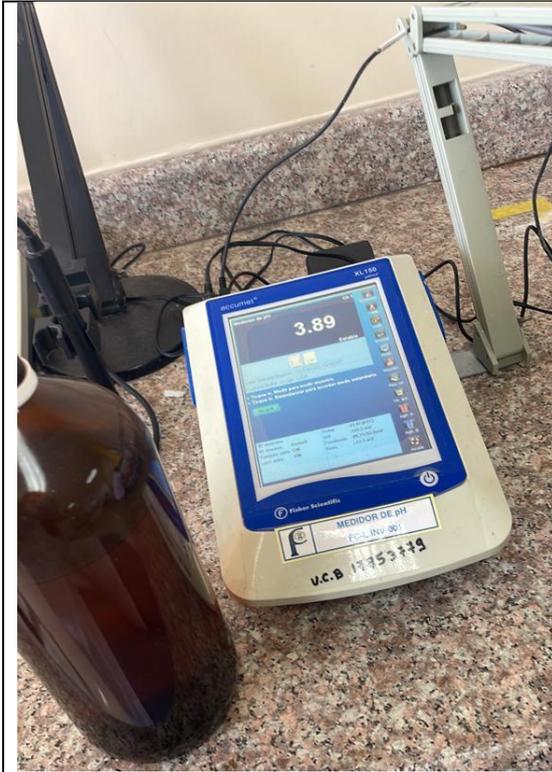
Estándares para metales pesados



Medición de metales pesados



Medición de macro y micronutrientes



Fosfatos



Cloruros



Sulfatos



Fosfatos

ANEXO K: PILAS DE COMPOSTAJE



Elaboración de pila de compostaje 1



Elaboración de la pila de compostaje 2



Control de parámetros pila 1



Control de parámetros pila 2



Compost final 1



Compost final 2

ANEXO L: ANALISIS DE MUESTRAS DE COMPOST



Molienda de muestras



pH y conductividad eléctrica



Carbono y nitrógeno total



Filtrado para IG



Índice de germinación

Digestiones



Filtrado

Muestras para análisis de As y Se



Índice de germinación



Digestiones



Estándares



Análisis de metales pesados



Análisis de macro y micronutrientes



Fósforo total



Ajuste de pH



Cloruros



Fosfatos



Sulfatos



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Diana Carolina Chuquizala Erazo Brayan Andrés Sánchez Andrango
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0035-DBRA-UPT-2023

