



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE MORONA SANTIAGO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL CALÓRICO DE LOS LODOS DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DE LA
CIUDAD DE MACAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: NANCY VALERIA JIMPIKIT WISUM

DIRECTOR: ING. JULIO CÉSAR LÓPEZ AYALA

Macas – Ecuador

2022

© 2022, Nancy Valeria Jimpikit Wisum

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

Yo, Nancy Valeria Jimpikit Wisum, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 19 de diciembre de 2022



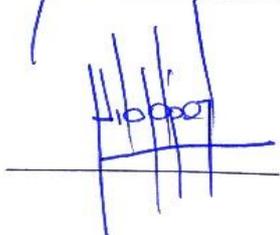
Nancy Valeria Jimpikit Wisum
140094602-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL CALÓRICO DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MACAS**, realizado por la señorita: **NANCY VALERIA JIMPIKIT WISUM**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Miguel Ángel Osorio Rivera PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022- 12-19
Ing. Julio César López Ayala DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-19
Ing. Luis Patricio Tierra Pérez MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-12-19

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación lo dedico a mi madre Marcia y hermanos Erick, Edwin y Roberth, quienes han sido parte fundamental durante el transcurso de mi carrera estudiantil, por ofrecerme su cariño y motivación incondicional, porque han llegado a fortalecer mi perseverancia en momentos complejos.

Nancy

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi hermano Erick que en paz descanse, gracias por los buenos momentos compartidos, gracias por ser el mejor hermano que pude tener. A mi madre, por brindarme sus conocimientos y experiencias, por hacer que nunca me falte nada y darme una respuesta para todo; lo que me ha convertido en una persona disciplinada, agradecida y responsable. A mi familia, por siempre creer en mí. A mis amigas y colegas Yadira, Nathali y Priscila que supieron comprenderme, complementando así nuestras debilidades y fortalezas. A la EsPOCH, por darme la oportunidad de escoger y estudiar una carrera universitaria con el fin de brindar mis conocimientos a la sociedad.

Nancy

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.1 Limitaciones.....	2
1.2.1.1 Análisis de metales pesados.....	2
1.2.2 Delimitaciones.....	2
1.2.2.1 Espacio.....	2
1.2.2.2 Tiempo.....	3
1.2.2.3 Alcance.....	3
1.3 Problema general de investigación.....	3
1.4 Problemas específicos de investigación.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.6 Justificación.....	4
1.6.1 Justificación teórica.....	4
1.6.2 Justificación práctica.....	5
1.7 Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.....	6
-----------------------------	----------

2.1	Antecedentes de la investigación	6
2.2	Bases conceptuales	8
2.2.1	<i>Agua residual</i>	8
2.2.2.	<i>Lagunas de estabilización</i>	8
2.2.2.1	<i>Lagunas anaeróbicas</i>	9
2.2.2.2	<i>Lagunas facultativas</i>	10
2.2.2.3	<i>Lagunas de maduración</i>	10
2.2.3	Lodo residual	11
2.2.3.1	<i>Origen de lodo residual</i>	11
2.2.4	Manejo de lodos residuales	12
2.2.5	Caracterización de los lodos residuales	12
2.2.6	Metales pesados en lodos residuales	13
2.2.7	Aplicaciones de lodo residual	14
2.2.8	Lodo residual generado en la PTAR de Macas	16
2.2.9	Estabilización por deshidratación en lechos de secado	16
2.2.9.1	<i>Factores Climáticos</i>	17
2.2.9.2	<i>Área requerida para implementación de lechos de secado</i>	17
2.3	Bases Teóricas	18
2.3.1	Sistema empleado en el tratamiento de aguas residuales industriales	18
2.3.1.1	<i>Reactor Anaeróbico de flujo Ascendente UASB</i>	18
2.3.2	Características de las aguas residuales	19
2.3.4	Residuos sólidos como recurso energético	19
2.3.5	Técnicas para tratamiento de biosólidos	19
2.3.5.1	<i>Tratamiento biológico en lodos</i>	20
2.3.5.2	<i>Tratamiento físico – químicos en lodo</i>	21
2.3.5.3	<i>Composición Química de lodos</i>	21
2.4	Base legal	21
2.4.1	Art 395	21
2.4.2	Art. 226.- Principio de jerarquización.	22
2.4.3	Art. 264.	22
2.4.4	Art. 36.- Ámbito legal	22
2.4.5	Ley de Gestión Ambiental, para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	22
2.4.5.1	<i>Art. 6.</i>	23
2.4.5.2	<i>Art. 7.</i>	23
2.4.6	Libro VI, Anexo I. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.	23

2.4.7	Libro VI, Anexo IV Norma de Calidad del Aire Ambiente.....	23
2.4.8	Ley Reformatoria del Código Penal.....	24
2.4.8.1	Art. 437 B.....	24
2.4.8.2	Art. 437 C.....	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1	Tipo de estudio	25
3.2	Enfoque de investigación	25
3.3	Nivel de investigación	25
3.3.1	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	25
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	26
3.4	Diseño de investigación	26
3.4.1	<i>Diseño Experimental</i>	26
3.5	Población y Área de estudio, selección y cálculo del tamaño de la muestra	27
3.5.1	<i>Población de estudio</i>	27
3.5.2	<i>Localización del Estudio</i>	27
3.5.3	<i>Método de muestreo probabilístico</i>	28
3.5.4	<i>Selección del tamaño de la muestra</i>	29
3.5.5	<i>Cálculo del tamaño de la muestra</i>	29
3.5.6	<i>Periodicidad de las muestras</i>	31
3.5.7	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	32
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	32
3.6.1	<i>Métodos aplicados a la investigación</i>	32
3.6.2	<i>Técnicas de Muestreo</i>	33
3.6.2.1	<i>Técnica para la obtención de muestras</i>	33
3.6.2.2	<i>Técnica de almacenamiento de muestras</i>	34
3.6.2.3	<i>Procedimiento operativo</i>	34
3.6.3	<i>Criterio para la selección del punto de muestreo en lagunas de estabilización</i>	34
3.6.4	<i>Instrumentos de investigación</i>	35
3.6.4.1	<i>Materiales</i>	35
3.6.4.2	<i>Equipos</i>	35
3.7	Aplicación del método gravimétrico para lodos de PTAR de Macas	36
3.7.1	<i>Porcentaje de humedad</i>	36
3.7.2	<i>Porcentaje de material volátil</i>	36

3.7.3	<i>Contenido de cenizas</i>	37
3.7.4	<i>Contenido de carbono fijo</i>	37
3.7.5	<i>Cálculo de potencial calórico mediante el método de Goutal</i>	38
3.8	Técnica de deshidratación de lodos de la PTAR de Macas	39
3.9	Determinación de pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos totales	40
3.10	Determinación de metales pesados	40
3.11	Análisis estadístico en Minitab 19	40

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO	41
4.1	Obtención de muestras	41
4.2	Almacenamiento de muestras	42
4.3	Procedimiento operativo	42
4.4	Parámetros físicos químicos	43
4.5	Análisis del método gravimétrico	44
4.5.1	<i>Porcentaje de humedad</i>	44
4.5.1.1	<i>Variación del porcentaje de humedad</i>	45
4.5.2	<i>Porcentaje de material volátil</i>	46
4.5.2.1	<i>Variación del porcentaje de material volátil</i>	46
4.5.3	<i>Contenido de ceniza</i>	47
4.5.3.1	<i>Variación del porcentaje de contenido de ceniza</i>	48
4.5.4	<i>Carbono fijo</i>	49
4.5.4.1	<i>Variación del porcentaje de contenido de carbono fijo</i>	49
4.6	Porcentaje de humedad en lechos de secado	50
4.7	Potencial Calorífico - método de Goutal	50
4.7.1	<i>Variación del potencial calorífico- método de Goutal</i>	51
4.8	Potencial calórico- laboratorio UCEM	52
4.9	Metales pesados (Pb, Hg y S)	52
4.10	Potencial calórico de la PTAR de Macas con otros combustibles sólidos	53
5	DISCUSIÓN	55
6	CONCLUSIONES	56
7	RECOMENDACIONES	57
	GLOSARIO	58

LISTA DE ACRÓNIMOS	59
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	66

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Entrada de agua residual a la PTAR de Macas	8
Ilustración 2-2:	Esquema de laguna de estabilización en paralelo	9
Ilustración 3-2:	Esquema de laguna anaeróbica	9
Ilustración 4-2:	Esquema de laguna facultativa.....	10
Ilustración 5-2:	Relación simbiótica entre algas y bacterias	10
Ilustración 6-2:	Lodo residual de la PTAR de Macas	11
Ilustración 7-2:	Diagrama de flujo de lodos primarios y secundarios	12
Ilustración 8-2:	Estructura y componentes de lecho de secado	17
Ilustración 9-2:	Generador de Reactor UASB.....	18
Ilustración 10-3:	Modelo general del procedimiento	26
Ilustración 11-3:	Ubicación del estudio en el mapa del Ecuador	27
Ilustración 12-3:	Esquema de General de la PTAR de Macas	28
Ilustración 13-3:	Método aleatorio	29
Ilustración 14-3:	Visualización satelital de la PTAR de Macas	29
Ilustración 15-3:	Puntos de muestreo en las lagunas de maduración 1 y 2 en Arcmap.....	31
Ilustración 16-3:	Valores del coeficiente “a” de la fórmula de Goutal	38
Ilustración 17-3:	Metodología para deshidratación de lodos en lechos de secado	39
Ilustración 18-3:	Sistemas disponibles para lecho de secado en la PTAR de Macas	39
Ilustración 19-4:	Selección punto de muestreo laguna de maduración 1	41
Ilustración 20-4:	Selección punto de muestreo laguna de maduración 2	42
Ilustración 21-4:	Variación del porcentaje de humedad.....	45
Ilustración 22-4:	Variación del porcentaje de material Volátil	46
Ilustración 23-4:	Variación del porcentaje de Cenizas.....	48
Ilustración 24-4:	Variación del Carbono fijo.....	49
Ilustración 25-4:	Variación del potencial calorífico.....	51
Ilustración 26-4:	Variación del lodo de PTAR de Macas con otros carbones.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Valores característicos de los parámetros más frecuentes en los lodos	13
Tabla 2-2:	Límites máximos permisibles de metales pesados en lodos según la norma 004-SEMARNAT.....	13
Tabla 3-2:	Límites permisibles de metales pesados para lodos por la norma (EPA, 1994)..	14
Tabla 4-2:	Generación de biosólidos en el mundo y su aprovechamiento energético	15
Tabla 5-2:	Dimensionamiento de caudal de la PTAR de Macas.....	16
Tabla 6-2:	Carga permitida de lodos para lechos de secado	17
Tabla 7-2:	Efecto y definición de los tratamientos de lodos residuales	19
Tabla 8-3:	Número mínimo de puntos de muestreo.....	30
Tabla 9-3:	Puntos de muestreo.....	30
Tabla 10-3:	Cronograma de muestreo por lagunas de estabilización.....	32
Tabla 11-3:	Cronograma de muestreo semanal de marzo-mayo 2022.....	32
Tabla 12-3:	Métodos aplicados en la investigación	33
Tabla 13-4:	Resultados de parámetros fisicoquímicos.....	43
Tabla 14-4:	Contenido de humedad.....	44
Tabla 15-4:	Contenido de material volátil a partir de las muestras de humedad	46
Tabla 16-4:	Contenido de cenizas a partir de las muestras de materia volátil	47
Tabla 17-4:	Contenido de cenizas a partir de las muestras de materia volátil	49
Tabla 18-4:	Contenido de humedad en lechos de secado	50
Tabla 19-4:	Potencial calórico inferior de lodos mediante el método de Goutal	51
Tabla 20-4:	Potencial calórico de los lodos mediante el software POLAB	52
Tabla 21-4:	Concentración de Metales presentes en la PTAR de Macas.....	52
Tabla 22-4:	Tabla general de los parámetros fisicoquímicos de los lodos de la PTAR de Macas	55

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MACAS

ANEXO B: RECORRIDO POR LA PTAR DE MACAS

ANEXO C: LAGUNAS DE MADURACIÓN 1 Y 2

ANEXO D: OBTENCIÓN DE MUESTRAS

ANEXO E: CONSERVACIÓN DE LODOS A - 4 °C

ANEXO F: PROCESO DE ELABORACIÓN DE LECHO DE SECADO DE LODOS.

ANEXO G: SECADO DE LODOS EN ESTUFA PARA ANÁLISIS DE METALES PESADOS

ANEXO H: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

ANEXO I: DETERMINACIÓN DE T, CE, PH Y STD EN LABORATORIO

ANEXO J: SOFTWARE ESTADÍSTICO MINITAB 19. CALCULO: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

ANEXO K: SOFTWARE ESTADÍSTICO SPSS

ANEXO L: ANÁLISIS DE LABORATORIO LABCESTTA S.A

ANEXO M: ANÁLISIS DE LABORATORIO DE UCEM

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estimar el potencial energético de lodo producido en la PTAR de Macas. Por ende, la investigación comprobó de forma estadística el potencial calórico presente en los lodos residuales, mediante parámetros físicos químicos; además se realizó la comparación del poder calorífico de la PTAR de Macas con otros combustibles sólidos utilizados en las diferentes operaciones y procesos industriales. La metodología radicó en el análisis de seis muestras compuestas de lodos recolectados de las dos lagunas de maduración, determinando su pH, temperatura, conductividad eléctrica, contenido de humedad, material volátil, % Ceniza, sólidos totales disueltos, carbono fijo, metales pesados (Pb, Hg, S) y poder calórico; lo que determinó la capacidad calorífica para combustibles comparándose con lo exigido bajo normativa nacional NTE INEN 2169: 98 y la normativa internacional EPA (Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos), que establecen los valores límites para el aprovechamiento de este material. Así mismo, se valoró la viabilidad económica durante el secado, con la utilización de estufas de secado y la elaboración de un prototipo de lecho de secado. El análisis de lodos fue tratado de forma estadística con el programa Minitab 19, bajo la técnica matemática de estadística descriptiva. Los resultados señalaron que los lodos residuales son aptos para la utilización como comburente para el sector industrial por su buena capacidad calórica. Se concluye que el lodo residual presentó 3945,433 Kcal/kg, un valor que se encuentra por encima del límite aceptable para su combustión. Se recomienda realizar más análisis de metales pesados para garantizar la inexistencia de efectos nocivos tanto para el ser humano como para el suelo.

Palabras clave: < INGENIERÍA AMBIENTAL >, < REUTILIZACIÓN >, < PODER CALORÍFICO >, < VALORIZACIÓN ENERGÉTICA >, < BIOSÓLIDO >

0217-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The main objective of the current research work was to estimate the energy potential of sludge produced of WWTP in Macas. Therefore, it verified statistically the heating potential present in the waste sludge through physical and chemical parameters. In addition, a comparison of the calorific value of the Macas WWTP with other solid fuels used in different operations and industrial processes was carried out. On the other hand, the methodology was based on the analysis of six samples composed of sludge collected from the two maturation ponds determining their pH, temperature, electrical conductivity, moisture content, volatile material, % ash, total dissolved solids, fixed carbon, heavy metals (Pb, Hg, S) and calorific value, determining the heating capacity for fuels compared with the requirements of national standard NTE INEN 2169: 98 and the international EPA (Environmental Protection Agency of the United States) that establish the limit values for the use of this material. At the same time, it evaluated the economic viability of the drying process with the use of drying ovens and the elaboration of a drying bed prototype. The sludge analysis was treated statistically with the Minitab 19 program with the mathematical technique of descriptive statistics. Finally, the results indicated that the sewage sludge is suitable comburent for the industrial sector, due to its good heating capacity. It is concluded that the sewage sludge presented 3945.433 Kcal/kg, a value that is above the acceptable limit for combustion, besides to make analysis of heavy metals to ensure that there are no harmful effects on both humans and soil.

Keywords: ENVIRONMENTAL ENGINEERING, REUSE, HEATING POTENTIAL, ENERGY VALORIZATION, BIOSOLIDE

By: Mauricio Martínez P



0602902504

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población y el desarrollo de la urbanización ha dado sitio a una mayor demanda de recursos finitos como el espacio terrestre, el agua, y la energía (Diaz, 2020, pp. 48-49). Asimismo, ha acentuado los retos que implica la protección ambiental, que incluyen la polución y la gestión de residuos. Estos inconvenientes son bastante perjudiciales para conseguir el propósito global del desarrollo sustentable, lo que han incitado el interés por una economía circular (Cervantes-Cocom y Chan-Ceh, 2020, p. 36). Independientemente de las actividades que realicemos, toda población genera residuos sólidos y líquidos, la consecuencia de esto es el aumento de los desechos a nivel mundial que es igual al aumento del volumen de aguas residuales urbanas, especialmente de lodos de depuración. Los lodos depurados se pueden describir como una mezcla de cualquier residuo sólido, semisólido o líquido generado desde un proceso mecánico, químico o biológico en plantas de tratamiento, originarios de fuentes municipales, comerciales o procesos industriales (Marambio y Ortega, 2003, p. 20)

En Ecuador, los lodos que se producen después del tratamiento tienen como última etapa los rellenos sanitarios, siendo la opción menos adecuada para el manejo y control de residuos, lo que contribuye a reducir la vida útil del relleno sanitario (Cardosa y Ramírez, 2002, p. 153). Este es el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macas, que al igual que la mayoría de las ciudades del país, no cuenta con una depuradora de lodos que aproveche los residuos generados.

El contenido del primer capítulo detalla el problema de investigación, sus limitaciones y justificaciones cuyas respuestas son la base primordial del proceso investigativo. El segundo capítulo abarca los fundamentos teóricos que definen el tema de tesis de manera que ayude a conocer los conceptos básicos y principales características. El capítulo tres abarca el marco metodológico, que analiza cada procedimiento utilizado en campo y en el laboratorio, ayudando a identificar los resultados a partir de las herramientas y normas vigentes empleadas. El capítulo cuatro, denominado Marco de Análisis e Interpretación de Resultados, describe toda la información desarrollada en el campo de investigación, incluyendo análisis de laboratorio representadas en tablas con las explicaciones correspondientes. Finalmente, el capítulo cinco discute las conclusiones y recomendaciones basadas en los objetivos planteados para el estudio.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La producción de lodos está directamente relacionada con el tratamiento de aguas residuales; tanto los lodos primarios como los secundarios en el caso de lagunas de estabilización, pueden volverse fácilmente putrefactos debido al alto contenido de bacterias y parásitos patógenos que exhiben una característica distintiva en forma de un olor desagradable que requiere una disposición final segura. Los lodos producto del tratamiento de aguas residuales deben ser tratados de acuerdo con la normativa ambiental vigente, antes de ser dispuestos a los rellenos sanitarios o valorizados para uso energético; teniendo en cuenta el alto contenido de metales pesados en caso de implantar al suelo o secado. En las últimas décadas, los desafíos de protección ambiental se han incrementado en todos sus ecosistemas, dando lugar a problemas de transporte y ubicación final de los lodos.

La gestión inadecuada de los lodos supone una amenaza debido a la dispersión de la materia prima y propagación de vectores; otro peligro es la posible contaminación a las aguas subterráneas por un inapropiado tratamiento o almacenamiento de los lodos. Los beneficios de lodos se pueden ver reflejados en la agricultura como fertilizante para el suelo, así como en procesos de recuperación de energía (Suárez y Martínez, 2004, p. 2).

1.2 Limitaciones y delimitaciones

1.2.1 Limitaciones

1.2.1.1 Análisis de metales pesados

Debido al elevado costo de análisis de metales pesados, se seleccionaron los principales (plomo, mercurio y azufre) que se encuentran en la mayoría de las aguas residuales, los cuales causan graves enfermedades y contaminación ambiental.

1.2.2 Delimitaciones

1.2.2.1 Espacio

El proyecto de investigación genera procedimientos analíticos, con la ayuda del laboratorio

químico de la ESPOCH sede Morona Santiago, la instalación cuenta con equipos básicos para análisis y ensayos que determinaran las propiedades fisicoquímicas de los lodos de la planta de tratamiento de la ciudad de Macas.

Por otro lado, se ha invertido en un laboratorio externo LABCESTTA S.A situado en Guayaquil para análisis de metales pesados, y el laboratorio de la Unión Cementera Nacional (UCEM) Planta Chimborazo, las cuales brindará información adicional para determinar los resultados en términos de poder calórico y concentración de metales pesados.

1.2.2.2 Tiempo

La investigación inició a partir del 11 de Abril de 2022, y las muestras de lodos se tomaron del 25 de Marzo al 27 de Mayo del presente año, los ensayos en laboratorio se ejecutaron a partir del 06 de Junio y finalmente las muestras se enviaron a laboratorios externos, las cuales se realizaron el 10 de Junio de 2022. Con respecto al secado de lodos a temperatura ambiente la duración fue de cuatro semanas aproximadamente.

1.2.2.3 Alcance

El alcance de este proyecto es formular una alternativa para reutilizar los lodos de la planta de aguas residuales de la ciudad de Macas obteniéndose un análisis estadístico descriptivo del potencial calórico, a partir de los parámetros fisicoquímicos establecidos por normativa ambiental.

1.3 Problema general de investigación

El manejo y disposición de los biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales la ciudad de Macas, es el problema más complejo que presenta la planta. Cabe resaltar que los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Macas no han sido evacuados desde el primer día de funcionamiento, por lo que no es posible estimar una cantidad determinada de lodo que puede producir anualmente la planta de tratamiento. Además, dado que no existe un procedimiento definitivo para la eliminación, determinan puntos claves para hacer uso de esta investigación.

Conforme a lo anterior, la pregunta general de este trabajo de investigación es:

¿Cómo evaluar el potencial calórico de los lodos residuales de la PTAR de la ciudad de Macas?

1.4 Problemas específicos de investigación

¿De qué manera atribuyen los parámetros fisicoquímicos de los lodos existentes en la Planta de tratamientos de Aguas Residuales de la ciudad de Macas?

¿Cuál es la condición óptima que debe poseer los lodos para garantizar un potencial calórico?

¿Cómo comprobar el poder calorífico de los lodos producidos en PTAR de la ciudad de Macas como aprovechamiento energético?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar el potencial calórico de los lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la ciudad de Macas.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos de los lodos existentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas.
- Identificar las condiciones óptimas del lodo residual mediante el análisis del potencial calórico encontrado.
- Comprobar el poder calorífico de los lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la ciudad de Macas en la disposición final para el aprovechamiento energético.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación teórica

A nivel mundial, la gestión de los residuos de lodos requiere un costo de construcción, con la justificación pertinente para el tratamiento del agua, ya que el volumen y propiedades de los lodos varía según el diseño de la planta, el tratamiento, el crecimiento microbiano y otros factores relacionados con el rendimiento del agua (Montes y Menéndez, 2015, p. 104); así como sustancias tóxicas (metales pesados) y organismos causantes de enfermedades que se esparcen por la atmósfera o se filtran en el suelo destruyendo la flora vida silvestre (Cuevas et al. 2006, p. 2). Esto con

la finalidad de corregir el problema (Oropeza, 2006, p. 66); además, de convertir residuos peligrosos en recursos aprovechables.

El trabajo de investigación se eligió debido a la situación actual de la ciudad de Macas al no resolver el problema de disposición final de lodos residuales, siendo un problema ambiental y social en el proceso de búsqueda de una solución. Por lo tanto, se ha implementado el cálculo del potencial calórico de los lodos con fines industriales como combustibles sólidos. Asimismo, en la investigación se señalan referencias como base para la aplicación de las buenas prácticas ambientales.

En específico, la investigación establecerá el valor energético que almacena el lodo residual de la PTAR de Macas y compararlos con otros combustibles alternos, teniendo en cuenta su poder calorífico para determinar el porcentaje que podría aportar; con miras a que en estudios posteriores la energía calculada a partir de lodos mediante el proceso de deshidratación de los sólidos pueda ser aprovechada en las diferentes operaciones y procesos industriales donde se utilicen combustibles sólidos. Así, uno de los usos de los lodos residuales de la ciudad de Macas, es la valorización energética; esto traería beneficios socioeconómicos que representarían una reducción de residuos con fines energéticos, al tiempo que reduce la dependencia externa de abastecimiento de combustibles fósiles (Herguedas et al. 2012, p. 10).

1.6.2 Justificación práctica

De acuerdo con los objetivos propuestos, su resultado correspondiente al potencial calórico permite encontrar soluciones a un residuo (lodos) mediante la reutilización y minimización de biomasa para su aprovechamiento energético. Con los resultados de metales pesados presentes en los lodos, se puede sugerir la técnica de secado (estufa o lecho de secado), enfocándose en las buenas prácticas ambientales, ya que la sequedad de lodos a altas temperaturas resulta ser tóxico; estos aportes ayudarán a cambiar la metodología en que finalmente se tratan los lodos. Finalmente, las estrategias planteadas contribuirán a resolver adecuadamente el tratamiento final de los lodos.

1.7 Hipótesis

La gestión y eliminación ineficaces de lodos conducen eventualmente a problemas de contaminación ambiental. Por ello, la hipótesis de esta investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Es posible determinar el potencial calórico de los lodos residuales de la PTAR de la ciudad de Macas como recurso energético, en base a parámetros fisicoquímicos?

Esta pregunta será objeto a múltiples respuestas y a varios planteamientos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Debido a la ausencia de normativas ambientales enfocadas al tratamiento de lodos residuales en el Ecuador, la investigación requiere estudios previos. Por tal motivo se recopiló una serie de información bibliográfica enfocada al residuo sólido, como aprovechamiento energético.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), una de las metas del año 2030, en el marco del programa ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) promete mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación de derrames y la reducción de las emisiones de productos químicos y materiales peligrosos, reducir a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratar y aumentar significativamente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial (OMS/UNICEF, 2017, p. 7).

A escala global, es escaso el proceso de tratamiento de lodos residuales debido a las grandes extensiones de terreno que requieren para almacenarlos, no obstante, existen ciertos países que se encuentran fuertemente vinculados al cuidado y protección del medio físico. En Perú, se realizó una valoración energética de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, donde la PTAR de Lima representó el 2 % aproximadamente del agua residual tratada; una de las vías para eliminarlos es la valoración energética, es decir, calcular el poder calorífico de los lodos resultando un poder calórico (P.C)= 21667,68 kJ/kg para la PTAR, y compararlo con otros combustibles sólidos como la antracita (P.C= 27907,2kJ/kg) y lignito (P.C. = 9108,57 kJ/kg), reflejando un porcentaje “aceptable” para utilizar lodos con este fin (Estrada y Cabrera ,2021, p. 4).

Asimismo, se realizó la mejora de la eficiencia energética en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a través de uso de biogás: estudio de caso de Polonia, que aseguró la eliminación de una alta cantidad de nutrientes. La evaluación se llevó a cabo en una estación depuradora de aguas residuales, comúnmente conocidas como EDAR, ubicada en Iława. Los resultados obtenidos indicaron que la PTAR produjo en promedio 2,54 GWh por año (7,63 GWh de electricidad en total) como resultado de la co-digestión de lodos de depuración con residuos de procesamiento de aves de corral (Maslon et al., 2020, p. 15).

En nuestro país, se realizaron estudios de caracterización y evaluación de lodos de depuración de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la EPMAPS-QUITO para su aprovechamiento en la generación de energía. El trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad, características y composición de lodos para su posterior aprovechamiento de energía a la misma planta y establecer posibles métodos de gestión. Para ello, la cantidad de lodos aprovechables para la generación de energía fue de 2,08 kg/día, lo que significa que es capaz de generar 2619,2 kWh/año de energía eléctrica, debido a que la planta trabaja a pequeña escala, no representó una alternativa rentable desde el punto de vista económico (Lara, 2017, p. 16).

El alcantarillado es considerado un servicio básico, sin embargo, la cobertura de estas redes en algunas ciudades es notablemente menor en relación con la cobertura de las redes de agua potable, lo que genera importantes problemas sanitarios. Anteriormente, la preocupación de las autoridades municipales estaba dirigida a construir redes de agua potable, dejando para un futuro indefinido la construcción de las redes de alcantarillado (Durán, 2015, p. 29). Uno de los beneficios que presenta el aprovechamiento con fines energéticos a partir de lodos, es la diversificación energética tanto nacional como mundial, disminución de residuos y dependencia externa del abastecimiento de combustibles fósiles (Herguedas et al., 2012, p. 10); para poder cumplir con lo especificado en la normatividad, los lodos deben ser tratados antes de disponerse, ya que se requieren grandes superficies de terreno o transportarlos a un sitio autorizado.

La situación actual del alcantarillado del municipio de Morona beneficia a los Barrios: la Barranca sector Oriental, Nuestra Señora del Rosario, 27 de febrero, Barrio Yambas, Naranjal, y el Barrio 14 de septiembre (Peña et al., 2014, p. 26). La infraestructura fue diseñada en el año 2019 y opera como un sistema combinado con bajo nivel de complejidad, compuesto por 3 redes de interceptores 1 A Y 2 A que llegan a la PTAR (Peña et al. 2014) y otro que desemboca a los ríos Upano, Copueno y Jurumbaino, con una descarga diaria de 6250.00 m³/d de aguas residuales (PCDOT. MORONA, 2014, p. 43).

El municipio de Morona, cuenta con una planta de tratamiento de agua residual llamada lagunas de estabilización, encargada del tratamiento mediante el desarrollo de poblaciones microbianas que eliminan de forma natural los patógenos presentes en el agua, al finalizar su tratamiento la planta produce lodos, las cuales desde el punto de vista ambiental deben ser aprovechados para que no sea considerado un problema para la población y el medioambiente; para esto, se debe realizar estudios con la finalidad de evaluar su aprovechamiento tanto en la agricultura como en la generación de energía, entre otras posibles disposiciones.

2.2 Bases conceptuales

2.2.1 Agua residual

Son las aguas derramadas, recolectadas y trasladadas por sistemas de alcantarillado público urbano, industrial, comercial, agrícola y pecuario; en su interior se concentra una gran diversidad de sustancias contaminantes (Noyola, Morgan y Guereca, 2013, p. 5).



Ilustración 1-2: Entrada de agua residual a la PTAR de Macas

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

2.2.2. Lagunas de estabilización

Son lagunas compuestas por sistemas de tratamiento de composición variable, integrados por procesos: físicos, químicos y biológicos, que facilitan la depuración del agua residual, hasta lograr un nivel aceptable de agua para su disposición final a los efluentes (MINAM, 2009, p. 20).

Las lagunas de estabilización u oxigenación son una alternativa de bajo presupuesto para el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a su baja complejidad en manipulación y tratamiento. La remoción de materia orgánica se realiza por sedimentación y a través de procesos biológicos aerobios y anaerobios que generan lodos de fondo en función del tiempo (Feria- Díaz y Martínez, 2014, p. 114). Existe una fuerte relación entre el diseño exitoso de un lago y su capacidad para funcionar correctamente. Un diseño deficiente del sistema lacustre conduce inevitablemente a dificultades en el mantenimiento y la operación (Yáñez, 1971, pp. 161-162). El depósito de lodos en las lagunas facultativas es mayor, y puede afectar su utilidad por la disminución del volumen efectivo, alterando la conducción del estanque. Aunque, la expulsión periódica de lodos suele ser necesario, la durabilidad y funcionamiento a largo plazo de estas infraestructuras dependerá de una correcta gestión desde el punto de ingreso del agua residual, hasta la eliminación del lodo, teniendo en cuenta que es necesario retirar cada 5 a 10 años en la primera etapa de la vida útil (Bouza-Dean y Salas, 2012 p. 6).

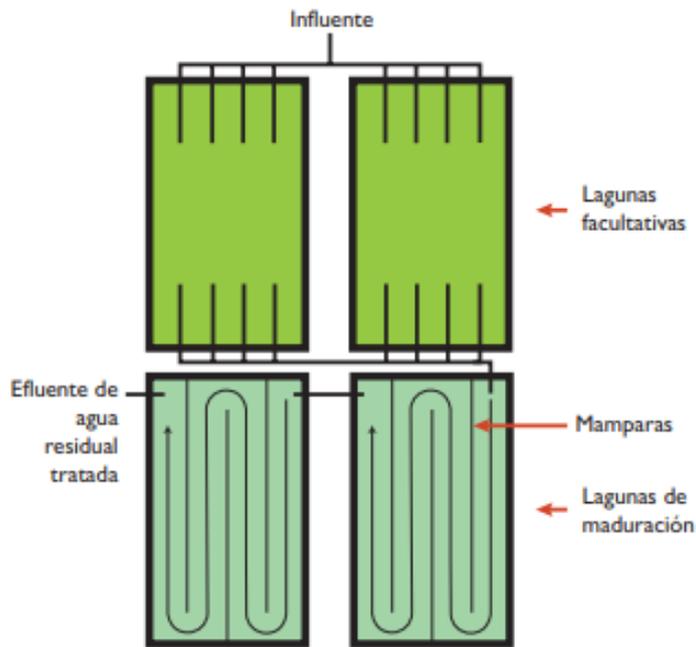


Ilustración 2-2: Esquema de laguna de estabilización en paralelo

Fuente: Oakley, 2005, p. 76

2.2.2.1 Lagunas anaeróbicas

Este proceso es básicamente anaeróbico y se logra por la acción de bacterias anaerobias, con ausencia total de oxígeno en la laguna; mayoritariamente en la superficie libre se desarrolla el crecimiento de pequeñas algas. Los procesos anaerobios encuentran sus mayores aplicaciones en el tratamiento de lodos separados del líquido en aguas residuales en procesos de depuración. En los lagos anaeróbicos los procesos se llevan a cabo más rápido con temperaturas más altas (Yáñez, 1971, p. 153).

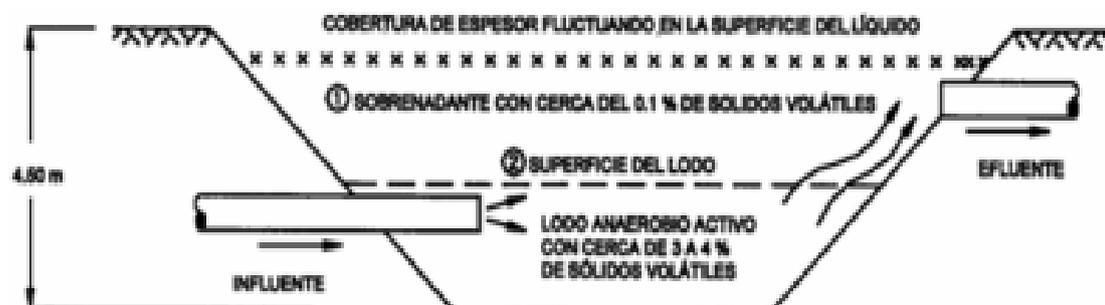


Ilustración 3-2: Esquema de laguna anaeróbica

Fuente: Comisión Nacional del Agua 2007, p. 45

2.2.2.2 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas se dividen en tres zonas:

- La zona de oxígeno disuelto en la que prevalecen las bacterias aerobias, sobre todo en la parte alta del lago.
 - Un área completamente carente de oxígeno disuelto, donde se asientan los sólidos suspendidos en el líquido.
 - La tercera región intermedia es donde el contenido de oxígeno disuelto se puede alterar.
 - Y finalmente la zona superior, donde se produce la oxidación de la materia orgánica
- (Yáñez, 1971, pp. 155-156)

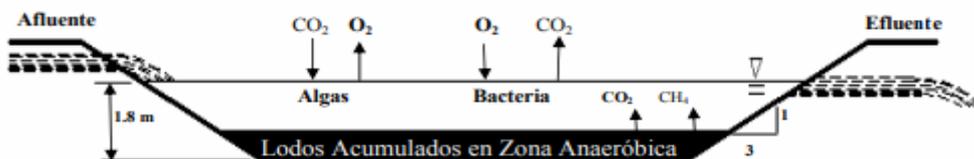


Ilustración 4-2: Esquema de laguna facultativa

Fuente: Oakley, 2005, p. 83

2.2.2.3 Lagunas de maduración

En las lagunas de maduración, la materia orgánica se descompone en un ambiente rico en oxígeno, que es proporcionado principalmente por la actividad fotosintética de las algas, así como por la presencia de los vientos dominantes. Estas características han proporcionado su aplicación en estudios de laboratorio. Para ejercer su efecto aeróbico, las lagunas deben construirse con una profundidad de líquido muy baja (0,15 a 0,25 m) permitiendo el paso de la luz del sol (Mercado, 2013, p. 6).

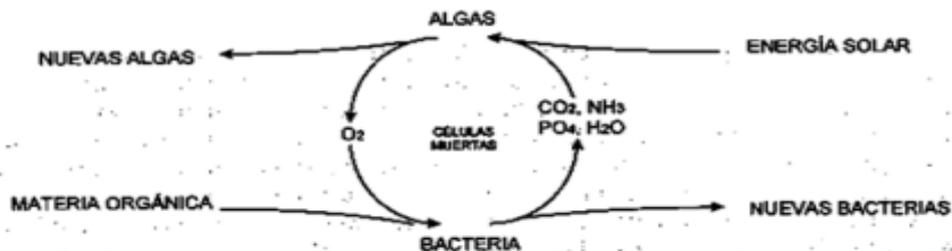


Ilustración 5-2: Relación simbiótica entre algas y bacterias

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 8

2.2.3 Lodo residual

Comúnmente, el lodo residual se define como el residuo semisólido, constituido por un gran porcentaje de agua y baja proporción de sólidos, resultantes de los diferentes tratamientos biológicos, mecánicos y químicos que adoptan las PTAR. Sus características y propiedades principales dependen de la naturaleza del agua residual, factores climatológicos y el proceso de tratamiento. Estos lodos se encuentran formados por agentes contaminantes y tóxicos: como metales pesados y organismos patógenos presente en el sistema (Amador, Veliz y Bataller, 2015, p. 1).



Ilustración 6-2: Lodo residual de la PTAR de Macas

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

2.2.3.1 Origen de lodo residual

En el tratamiento de aguas residuales se operan dos tipos de lodos, ésta obedece al origen de los lodos, y las características de acuerdo con el tratamiento en el que se produjo. Antes de poder disponer los lodos éstos deben ser desecados para reducir su volumen y estabilizados para reducir el llamamiento de vectores, olores y los riesgos a la salud (Limón, 2013, p. 18).

Los lodos o fangos son residuos separados de aguas tratadas en plantas depuradoras, compuesta por una mezcla de agua y sólidos: son expresados en masa (base seca), y volumen (base húmeda). Así, en una estación depuradora municipal los lodos primarios son aquellos originarios de la decantación primaria, y lodos secundarios al lodo retirado del tratamiento biológico. Otras derivaciones de lodos son: tratamientos anaerobios, lagunas de estabilización, procesos de espesamiento y deshidratación, lavado de filtros de arena y procesos de ablandamiento de aguas (Laca y Díaz 2019, p. 29).

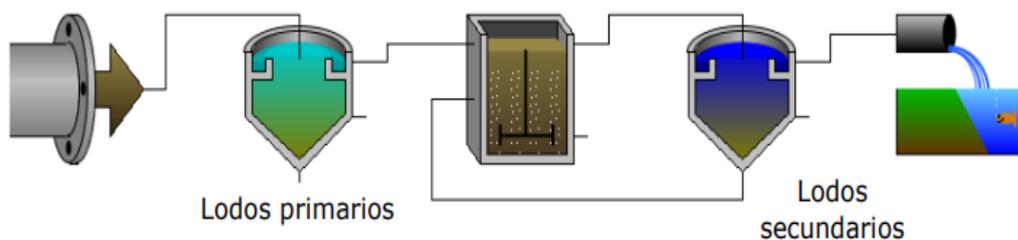


Ilustración 7-2: Diagrama de flujo de lodos primarios y secundarios

Fuente: Limón 2013, p. 11

2.2.4 Manejo de lodos residuales

Conforme a su composición, los biosólidos deben ser estabilizados antes de disponerse a un destino final para reducir la atracción de vectores, los olores y los riesgos a la salud. Además, los lodos deben ser desaguados para reducir su volumen y al ser manipulados se debe tener ciertas consideraciones debido a su contenido de sólidos ya que formulará el diseño y dimensionamiento de la instalación al igual que los equipos utilizados para su tratamiento (Limón, 2013, p. 18).

Para el manejo de lodos, es esencial establecer cuáles son los efectos positivos y negativos, a corto y a largo plazo en la aplicación de lodos sobre propiedades físico-mecánicas de los suelos, para determinar la dosis correcta de concentración sin generar mayores problemas a la salud, como escurrimiento de componentes orgánicos y metales pesados al suelo (Cuevas et al. 2006, p. 6). Los lodos producidos y extraídos de las respectivas operaciones y procesos de las aguas residuales generalmente son líquidos o semilíquidos con 12% en peso de sólidos, y su fracción a evacuar de lodo es aproximadamente de 2% del caudal de agua residual tratada biológicamente (Limón Macías, 2013). La reutilización de lodos y su valorización energética son técnicas favorables desde la perspectiva ambiental (Barrachina, 2015, p. 20).

2.2.5 Caracterización de los lodos residuales

La caracterización de los lodos es importante para medir la concentración de nutrientes y compuestos tóxicos que deben eliminarse para su aplicación en los suelos, o como aprovechamiento energético. Para la apropiada administración de lodos es necesario evaluar la composición química, especialmente de metales pesados, para esto se debe aplicar técnicas espectrofotométricas; mientras que el método de gravedad se utiliza para materiales sólidos (Amador, Veliz y Bataller 2015, p. 3).

Tabla 1-2 Valores característicos de los parámetros más frecuentes en los lodos

Indicadores	Límite Máximo Permisible	Límite Mínimo Permisible	Unidad
DQO total	9000	6000	mg/L
DBO total	3000	2000	mg/L
Nitrógeno total	1500	200	mg/L
Sólidos suspendidos totales	1000	700	mg/L
Sólidos Disueltos totales	1000	500	mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	6000	4000	mg/L
Temperatura	35	13	°C
pH	9	6,0	-
Coliformes fecales	10 ⁸	10 ⁶	(NMP/100 mL)
Potencial Calórico	-	3100	Kcal/kg

Fuente: Amador, Veliz y Bataller, 2015, p. 3

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

2.2.6 Metales pesados en lodos residuales.

El contenido de los metales pesados es un indicador que se debe apreciar en la caracterización de los lodos, éstos se encuentran constituidos por un grupo de elementos químicos que ostentan una eminente toxicidad para los seres vivos y el ecosistema, sin embargo, se presentan en concentraciones permisibles en los lodos para su mando de forma segura. En las tablas 2-2 y 3-2 se establece los límites máximos permisibles para lodos, según la Norma Mexicana Oficial NOM-004-SEMARNAT y la normativa EPA de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos.

Según un estudio realizado por la Universidad *Rovira i Virgili* de Tarragona, en el que se evaluaron los riesgos de emisiones por el uso de lodos en hornos de clinker, se concluyó que los gases no son tóxicos e incluso son inferiores a las emisiones de los combustibles fósiles, ahorrando emisiones de CO₂ equivalentes a 144.000 toneladas/año (Nadal, Shuhmacher y Domingo, 2009, pp. 22-27).

Tabla 2-2 Límites máximos permisibles de metales pesados en lodos según la norma 004-SEMARNAT

Metal	Concentración Permisible	Unidad
Cadmio	39-85	mg/kg
Cobre	1500- 4300	mg/kg

Níquel	420	mg/kg
Plomo	300-840	mg/kg
Zinc	2800-7500	mg/kg
Mercurio	17-57	mg/kg
Cromo	1200-3000	mg/kg
Arsénico	41-75	mg/kg
Selenio	50-100	mg/kg
Molibdeno	10-25	mg/kg

Fuente: SEMARNAT 2003, p. 4

Los lodos que perduran tras el proceso de secado se consideran aprovechables, siempre que cumplan con los límites máximos permisibles de metales pesados estipulados en la normativa oficial mexicana, para ser clasificados como residuo (SEMARNAT, 2003, p. 2). Sin embargo, hay un grupo de metales más tóxicos, como el cadmio, el azufre, el mercurio y el arsénico, que necesitan un cuidado especial por su contenido en los lodos, ya que si no se controlan adecuadamente pueden causar problemas de salud y fitotoxicidad en las plantas (Malla et al. 2007).

Tabla 3-2 Límites permisibles de metales pesados para lodos por la norma (EPA, 1994)

Metales	Norma EPA 503	Concentración permisible	Unidad
Zinc	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4 1994	2800	mg/kg
Plomo	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4	300	mg/kg
Cadmio	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4	39	mg/kg
Arsénico	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4	41	mg/kg
Cobre	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4	1500	mg/kg
Níquel	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev.4.4	420	mg/kg
Mercurio	PE-AL-10 EPA 3015 A, Rev.1 2007 EPA 245.1, Rev.3, 1994 EPA 7470A, Rev.1	17	mg/kg
Azufre	Método Turbidimétrico	125	mg/kg

Fuente: Amador, Veliz y Bataller ,2015, p. 5 y Labcesta, 2020, pp. 9-10

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

2.2.7 Aplicaciones de lodo residual

Relleno sanitario

El vertedero ha sido uno de los últimos destinos conocidos durante décadas. El crecimiento de la población y consecuentemente la acumulación de residuos ha creado la necesidad de dispersar los

lodos en el suelo donde servirán como cabinas de tratamiento final, lo cual es una buena alternativa para los países en vías de desarrollo (Cuevas et al., 2006, p. 2).

Incineración

Es un proceso de quema de lodos a temperaturas superiores a 800°C en presencia de oxígeno, hasta alcanzar la descomposición de los compuestos orgánicos, resultando una reducción del 90% de la masa total de lodos y dejando cenizas (Campos Medina et al. 2009, p. 4).

Suelo

El uso de lodos como fertilizante en la agricultura para la conservación de suelos, fue una de las metas propuestas en el plan nacional de lodos 2001-2006; aunque el uso de biosólidos en la agricultura aporta nutrientes, también contribuye a la degradación de suelos por la presencia de metales altamente tóxicos (Ojeda, 2005, p. 71).

Aprovechamiento energético de lodos residuales

El aprovechamiento a partir de residuos como los lodos son aceptados por la mayoría de los países desarrollados, estos utilizan el 15% de los biorresiduos generados para recuperación de energía por digestión anaerobia. La energía generada se utiliza para operar el propio digestor o planta de tratamiento ya sea el caso. Reducir las emisiones de metano tiene beneficios energéticos, ambientales y económicos, ya que proporciona una fuente de combustible renovable para la recuperación de energía y mejora la calidad ambiental para las comunidades cercanas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (Arhoun, 2017, p. 7).

Tabla 4-2 Generación de biosólidos en el mundo y su aprovechamiento energético

País	Lodo generado en Ton/año (%)	Disposición en rellenos sanitarios (%)	Cantidad utilizada para recuperación energética (%)
Estados Unidos	7.2	15	5
Canadá	0.550	17	7
Unión Europea	9.2	18	23
China	2.9	34	0
Japón	2.0	20	5
Brasil	0.48	45	0
México	0.640	76	0

Fuente: Rojas y Mendoza, 2012, p. 5

2.2.8 Lodo residual generado en la PTAR de Macas

El lodo que genera la PTAR de Macas es de tipo semisólido o líquido en su mayoría, debido a la ausencia de tratamiento a las aguas residuales que ingresan de los principales interceptores. Su composición depende como tal de las características del agua; como tal, presenta gran cantidad de materia orgánica y baja concentración de metales pesados. En la tabla 5-2 se demuestra el dimensionamiento de la planta de aguas residuales, de acuerdo con la población de Macas.

Tabla 5-2 Dimensionamiento de caudal de la PTAR de Macas

Parámetro	Valor
Caudal máximo	748 l/s
Población servida	23.366 habitantes
Dotación de agua potable	240 l/Hab/día
Coefficiente de retorno de aguas	07 (bajo)
Factor de mayoración	2.58
Caudal medio de aguas residuales	3.25 m ³ /día
Caudal de aguas ilícitas	80 l/Hab/día
Caudal de Aguas de infiltración	0.15 l/s/km
Caudal de operación	6.859 m ³ /día

Fuente: GADM Morona, 2017

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

2.2.9 Estabilización por deshidratación en lechos de secado

La estabilización mediante el método de lecho de secado, es un proceso natural en la cual los lodos espesos se colocan en cajas o compartimentos rectangulares poco profundos cubiertos con un material impermeable, lo que permite la intrusión de la luz solar y el viento y la infiltración. Las ventajas que proyecta esta técnica de secado son una menor inversión, y procesamiento en comparación con otros modos de secado, la operación es simple y sin compuestos químicos para reducir el consumo de energía. Los lodos, una vez sedimentados, se utilizan para restaurar suelos erosionados, ya que al almacenar durante largos periodos de tiempo expresan un alto grado de limpieza (Dodane y Ronteltap, 2014, pp. 143-144).

2.2.9.1 Factores Climáticos

Los factores climáticos afectan el rendimiento y la operación de los lechos de secado. En general, si la zona presenta bajo índice de precipitación, el tiempo de secado es corto; de lo contrario, las fuertes lluvias pueden reducir la viabilidad de implementar los lechos, en cuyo caso se instalan cubiertas (Alzate, 2021, p. 21).

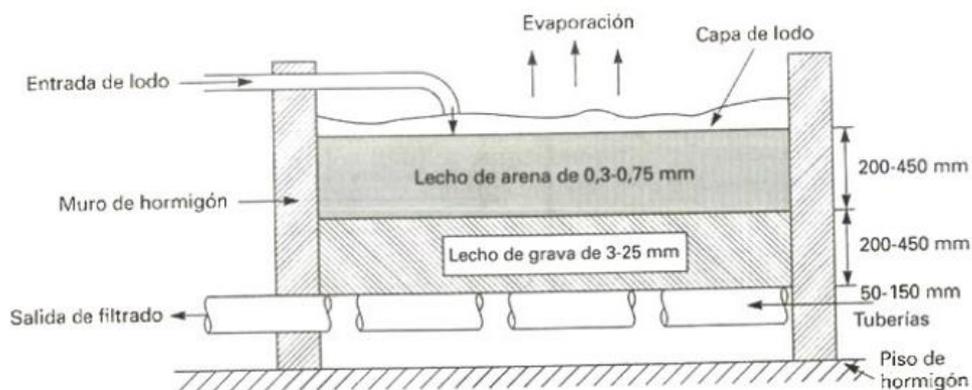


Ilustración 8-2: Estructura y componentes de lecho de secado

Fuente: Kiely, 1999

2.2.9.2 Área requerida para implementación de lechos de secado

El área requiere de un espacio mínimo necesario para la operación de deshidratación de lodos; el tiempo de secado puede depender de la tasa de carga de lodos, expresada como masa de carga de sólidos secos residenciales.

A continuación, se observa la carga permitida de lodos en las diferentes etapas de tratamiento.

Tabla 6 -2 Carga permitida de lodos para lechos de secado

Tipo de lodo	Superficie m ² /per cápita	Carga de lodo kg ST / m ² * año.
Primario digerido	0,1-0,15	122-146
Primario y de filtros percoladores digeridos	0,125-0,175	88-122
Primario y lodo activado en exceso digeridos	0,175-0,25	58-98
Primario y de precipitación química digeridos	0,20-0,25	0,20-0,25

Fuente: Alzate, 2021, p. 22

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Sistema empleado en el tratamiento de aguas residuales industriales

Al implementar métodos de tratamiento térmico para el manejo de desechos sólidos, es importante tener en cuenta el contenido de humedad que almacena, ya que es necesario para el enfoque de cuidado ambiental, como el caso de contaminación al aire y aguas, de manera similar se expresan distintos tipos: humedad superficial y humedad molecular (Cano, 2016, p. 22). De acuerdo con las etapas de tratamiento, el diseño y construcción varía; por esta razón, no todos los tipos de plantas requieren el mismo pretratamiento, por lo que es recomendable indagar las condiciones más apropiadas para el diseño de la planta.

2.3.1.1 Reactor Anaeróbico de flujo Ascendente UASB

El reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) se utiliza para el tratamiento de aguas residuales industriales con medianas y altas concentraciones de materia orgánica. El funcionamiento del reactor obedece a la actividad autorreguladora de varios grupos de bacterias que descomponen la materia orgánica y forman lodos biológicamente activos en el reactor (Messa, 2006, p. 8). Por último, los reactores de tipo UASB tienen muchas ventajas sobre los sistemas tradicionales, especialmente la baja inversión de costos de instalación, mantenimiento y el bajo consumo de energía eléctrica (Bermúdez et al., 2003, p. 4).

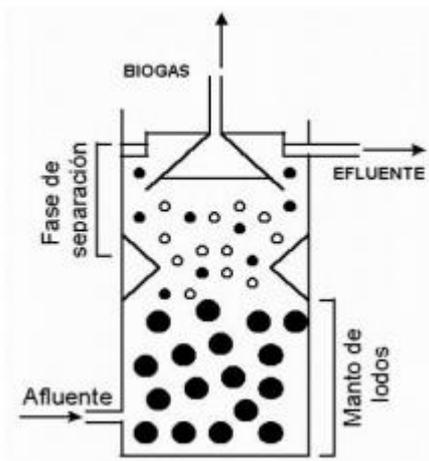


Ilustración 9-2: Generador de Reactor UASB

Fuente: Messa, 2006, p. 10

2.3.2 Características de las aguas residuales

El agua se utiliza en una variedad de formas para uso doméstico, industrial, agrícola, ganadero, etc. Dependiendo de la aplicación, no solo se introducen en las aguas una variedad de contaminantes y nutrientes, sino también sustancias químicas altamente tóxicas y dañinas para el medio ambiente (Sagastume, 2019, p. 2). Las aguas residuales urbanas recolectadas a través de los sistemas de drenaje pueden provenir de las fuentes domésticas, industriales o aguas de escorrentía pluvial. En el caso de aguas residuales domésticas estas provienen de:

- **Cocina:** sólidos, materia orgánica, aceites, sales
- **Lavadoras:** detergentes, nutrientes
- **Baños:** jabones, geles, champús
- **Aguas negras:** provenientes del metabolismo humano

Estas aguas domésticas suelen almacenar grasas, aceites, arenas, sólidos en suspensión, nutrientes, materia orgánica, productos químicos y agentes patógenos, incluso deben mantener un tratamiento previo a su disposición final (Sagastume, 2019, p. 2).

2.3.4 Residuos sólidos como recurso energético

Se denomina biomasa al producto obtenido a partir de materiales orgánicos, incluidos los lodos de depuradora, residuos de la deforestación, los residuos de la industria maderera, del papel y el cartón. Estos combustibles tienen un poder calorífico variable entre 3100 y 3800 kcal/kg (López, Blanco y Gutierrez, 2012, p. 54). Por consiguiente, se debe reconocer que no todos los residuos se pueden recuperar en el horno, como es el caso de los residuos radiactivos.

Entre los residuos valorizables se pueden citar los siguientes: neumáticos fuera de uso (NFU), harina de animales, biomasa (madera, lodos, etc.) o plásticos.

2.3.5 Técnicas para tratamiento de biosólidos

Existen diversas técnicas en los procesos de tratamiento de lodos, que han adquirido gran importancia para la eficacia de los tratamientos, la selección de la tecnología debe solventar los volúmenes a tratar y la reducción de la contaminación. Se considera más efectivo establecer un sistema de tratamiento para asegurar una mayor descontaminación.

Tabla 7-2 Efecto y definición de los tratamientos de lodos residuales

Tratamiento	Definición	Efecto en los lodos
-------------	------------	---------------------

Sedimentación	Separación suave de agua y sólidos mediante gravedad, flotación o centrifugación	Concentra los sólidos mediante la remoción de agua.
Digestión	Estabilización biológica a través de la conversión de la materia orgánica en CO ₂ , agua y metano	Reduce patógenos y materia biodegradable
Estabilización alcalina	Estabilización mediante la adición de materiales alcalinos (cal).	Disminuye la actividad biológica.
Acondicionamiento	Proceso que causa la coagulación de los sólidos para favorecer en la deshidratación	Facilita la aglomeración de los sólidos
Deshidratación	Separación fuerte del agua y los sólidos	Facilita el manejo de los lodos
Compostaje	Estabilización biológica aeróbica, termofílica en un montículo	Disminuye la actividad biológica
Calentamiento	El calor termina de eliminar los organismos patógenos y elimina la humedad residual	Desinfecta los lodos y destruye organismos patógenos

Fuente: Fioravanti y Vega, 2003, p. 13

2.3.5.1 Tratamiento biológico en lodos

La producción de lodos en cualquier forma de tratamiento es inevitable y es un factor muy importante para tener en cuenta para una buena elección del proceso de tratamiento. En el caso de las plantas de tratamiento, los contaminantes se convierten en lodos (Noyola, Morgan y Guereca, 2013, p. 14).

La tecnología más utilizada en el tratamiento de aguas residuales municipales es el proceso de lodos activos, un proceso biológico que produce cantidades exorbitantes de lodos orgánicos; durante este transcurso, la materia orgánica se oxida y se transforma en biomasa microbiana debido a la presencia de organismos vivos. El proceso se lleva a cabo en un tanque de aireación, donde las aguas residuales y los microorganismos entran en contacto durante varias horas, se mezclan y luego pasan a un tanque de sedimentación y su recirculación al tanque de aireación, proceso que se repite una y otra vez (Ministerio de Agricultura, 2013, p. 1).

2.3.5.2 Tratamiento físico – químicos en lodo.

La aplicación del tratamiento físico químico utiliza menores dosis de coagulantes, acompañado de pequeñas dosis de polímeros, lo que involucra bajos costos de operación y un aumento en la cantidad de lodos generados; el uso del hidróxido de sodio hace que el lodo sea de un color marrón para dosis bajas de coagulante; por esta razón, el lodo generado tiene un aspecto homogéneo. El sulfato de aluminio disuelto en agua produce hidróxido de aluminio, lo cual provoca las formaciones de flóculos que terminan sedimentándose con facilidad (Carrasco, 2007, p. 32).

2.3.5.3 Composición Química de lodos

La composición al igual que la cantidad de aguas residuales sufre variaciones respecto al tiempo, varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y de acuerdo con las variaciones climáticas. Obedeciendo al origen, los lodos pueden variar relativamente en función del contenido en sólidos. Generalmente, los lodos procedentes de EDAR, se identifican por contener elevada presencia de agua (92- 98%) y materia orgánica en forma compleja (lípidos, proteínas y carbohidratos), con bajo contenido de sales inorgánicas y metales pesados (Laca y Díaz 2019, p. 29).

2.4 Base legal

En la mayoría de las ciudades del Ecuador, las aguas residuales son descargadas en los afluentes más cercanos sin ningún tipo de tratamiento, debido a esto la normativa vigente nacional e internacional es muy clara en el manejo y disposición de lodos. Por lo tanto, la regulación específica en materia de gestión de lodos de depuradora se desarrolla en la siguiente legislación. El Código Orgánico del Ambiente, decreto vigente desde el año 2017, menciona los siguientes artículos en el marco de la ley de Gestión Ambiental:

2.4.1 Art 395

“El Estado garantizará un modelo de desarrollo sostenibles, ecológicamente equilibrado que preserve y respete la diversidad cultural, y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p. 7).

“Las políticas de manejo del medio ambiente serán de aplicación transversal y serán

de obligado cumplimiento por parte del Estado sobre todas y serán vinculantes para el Estado sobre todas las personas del territorio nacional” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p. 7).

2.4.2 Art. 226.- Principio de jerarquización.

La gestión de residuos y desechos se deberá cumplir de la siguiente manera:

1. Prevención
2. Minimización de la generación en la fuente
3. Aprovechamiento o valorización
4. Eliminación
5. Disposición final.

La disposición final se limitará a los residuos que no puedan ser utilizados, tratados, recuperados o dispuestos en condiciones ecológicas y tecnológicamente viables (COA, 2017, p. 61).

2.4.3 Art. 264.

Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: 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 del Ecuador, 2008, p. 130).

2.4.4 Art. 36.- Ámbito legal

Se establece como políticas de la gestión de residuos sólidos en el ámbito legal las siguientes:

- a. Garantía de la seguridad jurídica en la gestión integrada de los residuos sólidos, a través de la implementación de un régimen sectorial.
- b. Desarrollo y aplicación de mecanismos que permitan tomar acciones conjuntas de estímulo, control y sanción a los responsables de la gestión de los residuos sólidos (Ministerio del Ambiente 2010, p. 32).

2.4.5 Ley de Gestión Ambiental, para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

El presente título establece: Las normas generales nacionales aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental y de los impactos ambientales negativos de las actividades:

2.4.5.1 Art. 6.

“Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades” (Ministerio del Ambiente, 2004, p. 2).

2.4.5.2 Art. 7.

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor (Ministerio del Ambiente, 2004, p. 2).

2.4.6 Libro VI, Anexo I. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

La presente norma ambiental establece:

- a. Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado
- b. Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.
- c. Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 29).

2.4.7 Libro VI, Anexo IV Norma de Calidad del Aire Ambiente.

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el ambiente a nivel del suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (Ministerio del Ambiente, 2004, pp. 5-6).

2.4.8 Ley Reformativa del Código Penal

Dado que la ley debe tipificar infracciones y determinar procedimientos para establecer responsabilidades penales por acciones u omisiones en contra de las normas de protección ambiental, al Código Penal se le incorporó el Capítulo X, DE LOS DELITOS CONTRA EL MEDIO AMBIENTE.

2.4.8.1 Art. 437 B.

El que infringiere las normas sobre protección del ambiente, vertiendo desechos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiere causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido (Comisión Legislativa, 2012, p. 105).

2.4.8.2 Art. 437 C.

La pena será de tres a cinco años de prisión, cuando:

- a. Los actos previstos en el artículo anterior ocasionen daños a la salud de las personas o a sus bienes.
- b. Los actos contaminantes afecten gravemente recursos naturales necesarios para la actividad económica (Comisión Legislativa, 2012, p. 105).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio aplicado que se realizó en la investigación es experimental, puesto que se examinó el comportamiento de los lodos, mediante la manipulación de la variable independiente como son los parámetros fisicoquímicos de los lodos, con la finalidad de evaluar el potencial calorífico de los lodos de la planta de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Macas.

3.2 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es cuantitativo, ya que los resultados del estudio se relacionan directamente con los valores de las diferentes variables; mencionando así, que la variable dependiente es el poder calorífico, el cual será comparado con los valores caloríficos de otros combustibles sólidos similares, y la variable independiente que corresponde a los parámetros fisicoquímicos acorde a la determinación del poder calorífico, puesto que el mismo va a depender netamente de dichos parámetros. Los resultados serán obtenidos mediante el método de Goutal y corroborado por análisis de laboratorio de la Unión Cementera Nacional del Chimborazo.

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es de tipo exploratorio, pues el propósito de la investigación es identificar, interpretar y obtener información acerca del comportamiento de los lodos obtenidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas y la presencia de metales pesados existentes en los mismos, determinando así el potencial calorífico y con ello el problema a estudiar mediante la utilización de una metodología flexible y de amplio alcance, de modo que los resultados obtenidos sean favorables para la investigación.

3.3.1 *Según la manipulación o no de la variable independiente*

La investigación se efectuó aplicando un diseño experimental, donde se lleva a cabo la utilización del programa estadístico MINITAB 19 para análisis estadístico descriptivo, con el fin de evaluar los parámetros fisicoquímicos como variable independiente con los límites máximos permisibles

de combustibles de acuerdo a normativa ambiental tomando en cuenta los diferentes factores involucrados en el estudio.

3.3.2 Según las intervenciones en el trabajo de campo

La investigación estuvo sujeta a un trabajo de campo en distintas fechas durante el mismo año, debido a la recopilación de datos y muestreos realizados. Consecuentemente, al finalizar la investigación se obtuvieron muestras de seis muestreos realizados entre los meses de Marzo y Mayo del 2022.

3.4 Diseño de investigación

La investigación se realizará a través de 3 etapas principales:

1. Fase de campo (recolección de muestras)
2. Fase de laboratorio
3. Fase de análisis de resultados

3.4.1 Diseño Experimental

El tipo de diseño experimental que se utilizará en este estudio corresponde al comportamiento de la variable independiente (parámetros fisicoquímicos) para medir sus efectos en relación a la variable dependiente (potencial calórico) en base a un modelo estadístico descriptivo, permitiendo obtener conclusiones útiles para hacer deducciones sobre una totalidad, basándose en la información numérica de la muestra. De la misma manera, estudia el grado de fiabilidad de los resultados extraídos del estudio.



Ilustración 10-3: Modelo general del procedimiento

Fuente: Jimpikit Wisum, Nancy, 22022

3.5 Población y Área de estudio, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1 Población de estudio.

El cantón Morona se encuentra ubicado en el centro de la provincia de Morona Santiago, la cual a su vez se ubica en el centro sur de la Región Oriental, entre las coordenadas geográficas 79°05' de longitud. W; 01°26' de latitud S y 76°35' de longitud W; 03°36' de latitud S; forma parte de la cuenca amazónica sudamericana, tiene una superficie de 7.5 millones de kilómetros cuadrados y un ecosistema notablemente complejo debido a la reserva biológica que existe en el mundo. Corresponde al 19.35% de la superficie provincial y el 4.02% con respecto a la Amazonía tropical (Durán, 2015, p. 2).



Ilustración 11-3: Ubicación del estudio en el mapa del Ecuador

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.5.2 Localización del Estudio

Con la finalidad de evaluar el potencial calorífico de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas, se analizó parámetros fisicoquímicos de los lodos de la PTAR de Macas, la planta se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Macas en el Barrio Nuestra Señora del Rosario, cantón Morona, Provincia de Morona Santiago. La misma que cuenta con 4 lagunas: dos facultativas y dos de maduración. La planta recibe alrededor del 80% de las aguas servidas

provenientes de la ciudad de Macas, cuenta con un caudal de tratamiento de 220 litros por segundo; se estima una vida útil de 30 años y se establece que sus servicios abastezcan aproximadamente a 21 mil habitantes para el 2040 (Peña et al., 2014). A continuación, se observa el esquema de la PTAR de Macas.

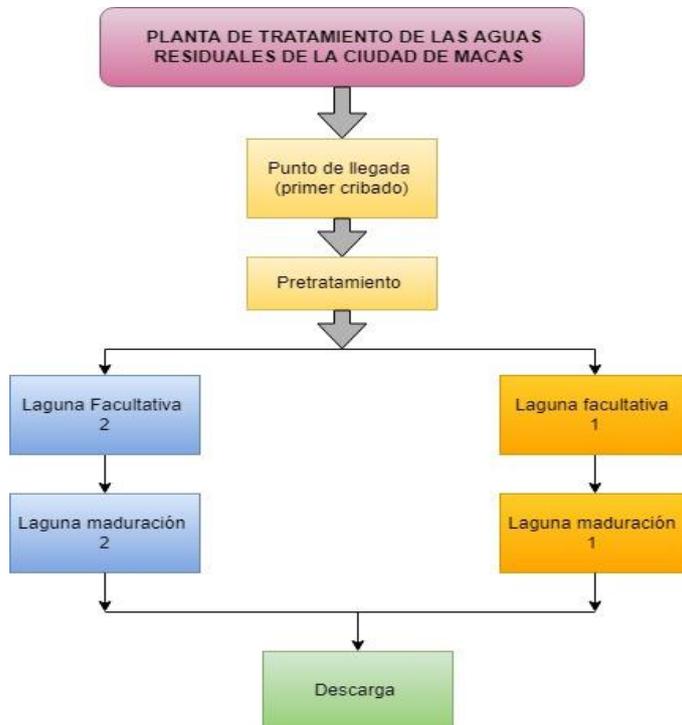


Ilustración 12-3: Esquema de General de la PTAR de Macas

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.5.3 Método de muestreo probabilístico

El método que se aplicó en la investigación es el método probabilístico de tipo aleatorio simple como menciona (Vázquez, 2017, p.4) en su investigación, en este método de muestreo todos los elementos de la población que fueron seleccionados para la muestra final se los escogió de manera aleatoria ya que todos los elementos tuvieron la misma probabilidad de ser escogidos. El tipo de muestra recolectada fue heterogénea con un gran porcentaje de líquido (90%) y un pequeño porcentaje de sólido (10%); para esto, se empleó distintas técnicas y métodos de investigación (Ver tabla 12-3).



Población

Ilustración 13-3: Método aleatorio

Fuente: Altamirano, 2014, p. 34

3.5.4 Selección del tamaño de la muestra.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Macas se encuentra conformado por un sistema de 4 lagunas de estabilización, divididas en dos facultativas que trabajan en paralelo, seguidas de dos lagunas de maduración. Para definir el tamaño de la muestra se consideró la extensión individual de cada laguna de maduración que fue de 48 x 126 m² (laguna maduración 1) y 61 x 101 m² (laguna maduración 2). Además, de la accesibilidad al lugar de la toma de muestra.



Ilustración 14-3: Visualización satelital de la PTAR de Macas

Fuente: Google Earth Pro, 2022

3.5.5 Cálculo del tamaño de la muestra

Para delimitar el número de muestras, se realizó un muestreo aleatorio simple con el programa ArcMap versión 10.5, donde de forma aleatoria. Para este cálculo se utilizó la herramienta Sampling Tools nos la misma que nos facilitó el número de muestras a partir de la dimensión de

las lagunas; en el caso de la laguna de maduración 1, su dimensión es de 0.682 hectáreas y en la laguna de maduración 2 su dimensión es de 0.740 hectáreas. De acuerdo con el área de interés en hectáreas, los puntos de muestreo en total sería de 6 en cada laguna.

Maduración 1: $0.68 = 05$ ha, puntos de muestreo 6

Maduración 2: $0.74 = 05$ ha, puntos de muestreo 6

Tabla 8-3 Número mínimo de puntos de muestreo

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: Altamirano, 2014, p. 24

En la tabla 9-3 se detalla las coordenadas y puntos específicos de muestreo en las lagunas de maduración 1 y 2.

Tabla 9-3 Puntos de muestreo

Lagunas	Punto de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y
Maduración 1	3	819239,907805 x;	9741764,33104 Y
Maduración 2	2	819129,184086 x;	9741628,50078 Y

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

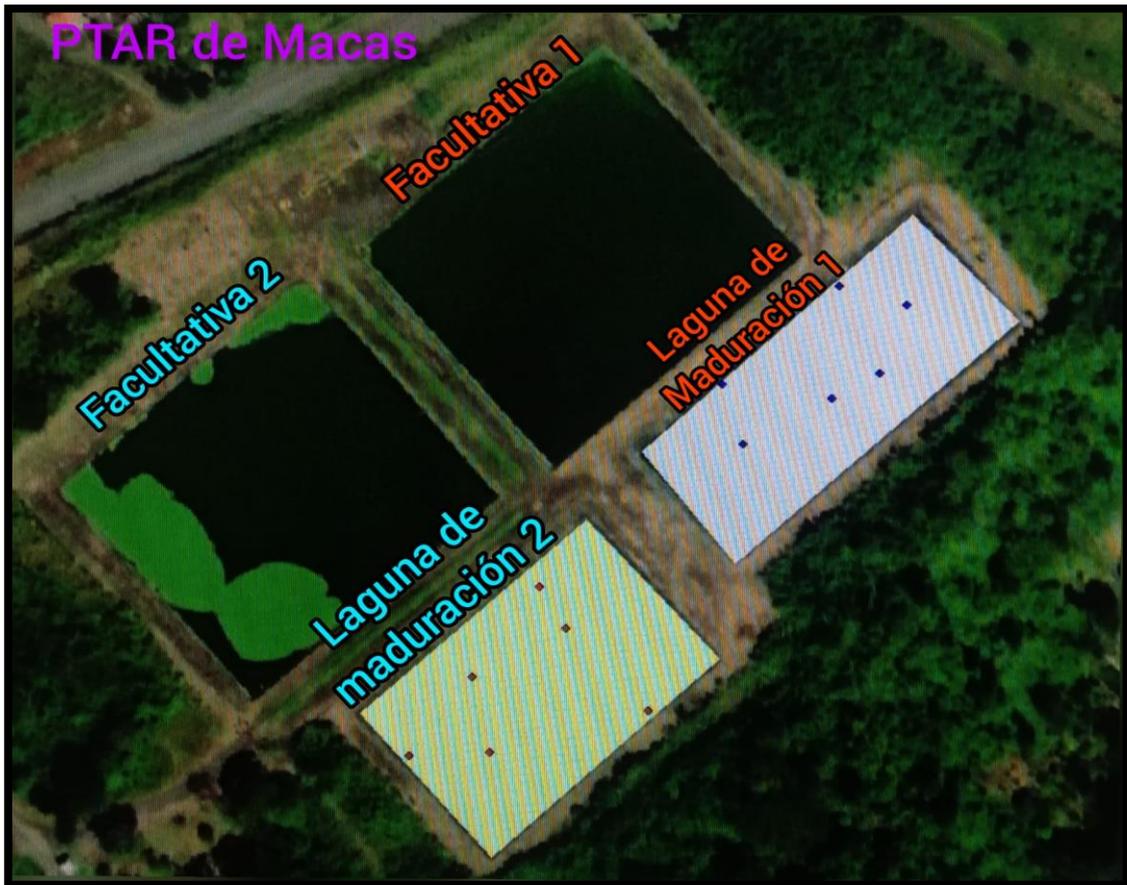


Ilustración 15-3: Puntos de muestreo en las lagunas de maduración 1 y 2 en Arcmap

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.5.6 *Periodicidad de las muestras*

Se consideró el tamaño de la muestra de forma periódica, tomando 1 muestra puntual de cada laguna de maduración durante las seis semanas, obteniendo así 1 muestra compuesta por cada fecha y un total de 6 muestras de las lagunas de maduración. Por esta razón se definió la población finita de acuerdo al tamaño de las lagunas de maduración. A continuación, las tablas 10-3 y 11-3 se fijan el número de muestras con respecto al tiempo de muestreo.

Tabla 10-3 Cronograma de muestreo por lagunas de estabilización

Fecha de muestreo	Muestra puntual laguna de Maduración 1	Muestra puntual laguna de Maduración 2	Muestra compuesta
25-marzo-22	1	1	1
01-abril-22	1	1	1
15-abril-22	1	1	1
29-abril-22	1	1	1
13-mayo-22	1	1	1
27-mayo-22	1	1	1
			Total: 6

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

Tabla 11-3 Cronograma de muestreo semanal de marzo-mayo 2022

Nº. Muestra compuesta	Fecha de muestreo
1	25-marzo-22
1	01-abril-22
1	15-abril-22
1	29-abril-22
1	13-mayo-22
1	27-mayo-22
Total: 6	

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.5.7 Técnicas de recolección de datos

- **Campo**

Procedimiento llevado a cabo en las lagunas de estabilización de Macas; consiste en la recolección de muestras y la visualización del campo de estudio (funcionamiento de la PTAR).

- **Documental**

Procedimiento ejecutado en oficina, mediante el uso de fichas de campo, fuentes bibliográficas de renombre (fuentes nacionales, artículos científicos, artículos de revisión, revistas etc.). Además, se obtendrá datos mediante el uso de programas estadísticos y análisis de laboratorio.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1 Métodos aplicados a la investigación

Los métodos utilizados en la investigación para cada técnica o cálculo realizado se describen en la tabla 12-3.

Tabla 12-3 Métodos aplicados en la investigación

Técnica o actividad realizada	Método aplicado
Técnica para el muestreo de lodos	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 5667-13 Primera edición 2014-01
Técnica para la obtención de muestras	Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Primera revisión
Técnica de almacenamiento de muestras	Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Primera revisión.
Procedimiento operativo	Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Primera revisión
Porcentaje de humedad	ASTM D – 1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal.
Porcentaje de material volátil	ASTM D – 1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal.
Contenido de cenizas	ASTM D – 1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal.
Contenido de carbono fijo	ASTM D – 1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal.
Análisis de poder calorífico	Método Goutal
Metodología de pH, conductividad eléctrica y temperatura	Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual Soil Survey Investigations Report No. 51 Version 2
Metales Pesados	PE-AL-18 EPA 3015 A – EPA 6010 D; EPA3051 a/EPA 245.5
Análisis estadístico	EPA 3051 a -/ EPA 245.5

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.6.2 *Técnicas de Muestreo*

3.6.2.1 *Técnica para la obtención de muestras*

- Fue primordial que el personal encargado de la toma de muestras esté capacitado y equipado con protección tanto para las manos y los ojos para salvaguardar su integridad física y evitar la contaminación de las muestras.
- Se realizó el procedimiento de manera manual mediante un recipiente atado a una cuerda. Para evitar el uso de equipos de muestreo automáticos. Con el fin de obtener muestras equivalentes y representativas sin que ocurra la separación de sólidos.

- Se identificó que tanto el material de toma de muestras como los lodos no sean corrosivos.

3.6.2.2 Técnica de almacenamiento de muestras

Para el almacenamiento de las muestras se lograron los siguientes pasos:

- Se almacenó las muestras en envases de polietileno con su respectivo etiquetado.
- Se conservó las muestras en condiciones adecuadas controlando la temperatura, humedad, exposición a la luz, etc.
- Se colocó las muestras en un recipiente con refrigeración para conservar las muestras a 4°C hasta su posterior llegada al laboratorio. Donde serán sometidas a distintos análisis fisicoquímicos.

3.6.2.3 Procedimiento operativo

- Se recolectó una muestra representativa de lodo residual de cada laguna de maduración.
- Se analizaron en el laboratorio mediante dos procesos de secado, en el primer proceso se utilizó aproximadamente 1000 gr de lodo, para el secado en la estufa, mientras que el segundo proceso se utilizó 2000gr de lodo para la incorporación al lecho de secado a temperatura ambiente, mediante la empleabilidad de una caja. Con la finalidad de conocer que proceso presenta mayor eficiencia de secado.
- Los lodos secos en laboratorio fueron analizados para verificar el contenido de poder calorífico, contenido de metales pesados y distintos parámetros fisicoquímicos.
- Para cada determinación se calculó el promedio de 6 muestras compuestas tomadas de las dos lagunas de la PTAR.

3.6.3 Criterio para la selección del punto de muestreo en lagunas de estabilización

Accesibilidad: El punto de muestreo debe ser en un lugar cómodamente posible, con vías de acceso que aporten facilidad al transportar los lodos y materiales para la toma de muestras, de tal manera que se evite el ingreso dentro de las lagunas.

3.6.4 Instrumentos de investigación

3.6.4.1 Materiales

- Frascos de Polietileno
- Guantes de látex
- Recipiente plástico (baldes)
- Embudo de decantación
- Papel filtro
- Bandejas de aluminio
- Mortero
- Crisoles
- Capsulas
- Plumón indeleble
- Hielo u otro refrigerante
- Piseta
- Agua destilada
- Espátula de laboratorio
- Pinzas
- Esquematización con los puntos de monitoreo predefinidos
- Fichas de registro de muestreo

3.6.4.2 Equipos

- Mufla
- Estufa

- Desecador
- Balanza analítica
- Medidor Multiparamétrico
- Cámara fotográfica

3.7 Aplicación del método gravimétrico para lodos de PTAR de Macas

3.7.1 Porcentaje de humedad

Para calcular el porcentaje de humedad de los lodos se aplicó la ecuación 1-2, basada en la técnica descrita por (Hooker y Gamez, 2010, p. 26); esta consiste en pesar una cierta cantidad de muestra (35,50 gr), y ponerlo a secar en la estufa por un tiempo de 24 horas a 110 °C. Posteriormente aplicar la Ecuación 1-2, para la determinación de humedad.

$$\% H = \frac{A-B}{A} * 100 \quad (\text{Ecuación 1-2})$$

Donde:

- %H= Porcentaje de humedad
- A=Peso inicial, humedad en base húmeda
- B= Peso final, humedad en base seca

3.7.2 Porcentaje de material volátil

Se considera materia volátil al conjunto de constituyentes de la biomasa, que se desprenden de la partícula cuando es sometida a calor en altas temperaturas. Los compuestos volátiles proceden tanto de la parte orgánica de la biomasa como de la inorgánica. El procedimiento se realizó de acuerdo con el método ASTM D-1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. A partir, del cálculo de % de humedad, que consistió en pesar una muestra de (35,50 gr), se calcula el material volátil presente en el lodo, para lo cual se ubicó el crisol en la mufla a 450°C por el lapso de 2 horas para que se volatilice. Después se situó la muestra en el desecador por 25 minutos, pasado el tiempo se procedió a calcular el porcentaje de material volátil empleando la ecuación 2-2 (Panduro, 2012, p.6).

$$\% MV = \left(\frac{Phc - Pfm}{Pfm} \right) * 100 - H \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

Donde:

- %MV = materia volátil del carbón
- Phc = peso húmedo del carbón
- Pfm = peso final
- H = contenido de humedad en porcentaje

3.7.3 Contenido de cenizas

Para calcular el contenido de cenizas se utilizó la técnica establecida donde se pesó la cantidad que fue volatilizada. El procedimiento consistió en volver a calcinar en la mufla a una temperatura de 950°C por 7 min hasta que se haya incinerado por completo, se pudo constatar aquello cuando la muestra se convirtió en ceniza de color naranja. Las cenizas posteriormente fueron colocadas en el desecador por 40 min. Finalmente, se determinó el peso de la cápsula con las cenizas restando el peso del crisol. El contenido de ceniza se determinó aplicando la ecuación 3-2 (Panduro, 2012, p.6).

$$\%C = \left(\frac{Pcb}{Phc}\right) * 100 \quad (\text{Ecuación 3-2})$$

Donde:

- %C= porcentaje de ceniza del carbón
- Pcb= peso de las cenizas blancas
- Phc= peso húmedo o inicial

3.7.4 Contenido de carbono fijo

El porcentaje de carbono fijo se obtuvo por diferencias de los valores calculados anteriormente, una vez conocidas los datos de los porcentajes de humedad, cenizas y materia volátil, se sumaron y se restaron por 100, véase la ecuación 4-2 (Panduro, 2012, p.7).

$$\%CF = 100 - (\%H + \%MV + \%C) \quad (\text{Ecuación 4-2})$$

Donde:

- %CF= contenido de carbono fijo expresado en porcentaje.

- H = contenido de humedad expresado en porcentaje
- MV = contenido de materia volátil.
- C = contenido de cenizas.

3.7.5 Cálculo de potencial calórico mediante el método de Goutal.

El potencial calórico es el primordial parámetro para considerar una vez que se quiere hacer la caracterización energética de un material. Este representa la cantidad de calor que es generado por la quema de una unidad de masa de un combustible conocido en condiciones normalizadas. Para la determinación del poder calorífico, se utilizó el método de Goutal, propuesto en el año 1902 y frecuentemente empleado para cálculo de carbones en el ámbito industrial (Corrales, 2012, p. 8). Para su cálculo se aplicó la ecuación 6-2 que pertenece a Goutal (Estrada, 2021, p.232).

$$V' = \left(\frac{\%MV}{\%MV + \%CF} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 5-2})$$

$$PC = 82CF + a V' \quad (\text{Ecuación 6-2})$$

V' =	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24
a =	145	130	133	127	122	117	113	110	108	105
V' =	25	27	29	31	33	35	37	39	40	
a =	108	101	99	97	96	94	88	82	80	

Ilustración 16-3: Valores del coeficiente “a” de la fórmula de Goutal

Fuente: Corrales, 2012, p. 8

Donde:

PC=poder calorífico en kJ/kg

MV=Porcentaje de material volátil

CF= porcentaje de carbono fijo

a= factor que se determina en la tabla de Goutal en función de V'

3.8 Técnica de deshidratación de lodos de la PTAR de Macas.

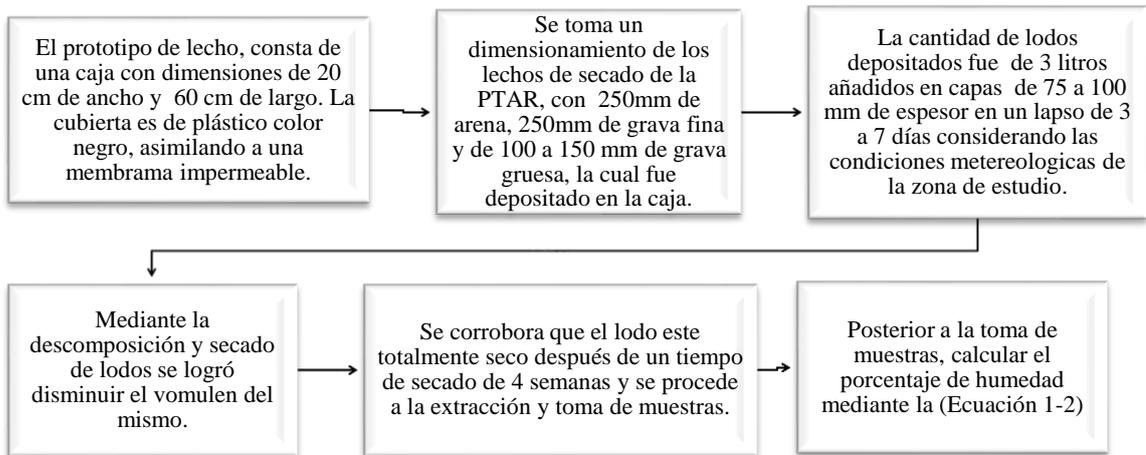


Ilustración 17-3: Metodología para deshidratación de lodos en lechos de secado

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy., 2022



Ilustración 18-3: Sistemas disponibles para lecho de secado en la PTAR de Macas

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

3.9 Determinación de pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos totales

Estos análisis son necesarios para poder obtener buenos resultados en la investigación, en lo que constata al trabajo de laboratorio a cada muestra se le calculó el valor de su pH, la conductividad eléctrica y la temperatura siguiendo la metodología establecida para ello (ver tabla 2-2). El instrumento empleado fue el multiparamétrico PC4005 Model. Para estos análisis es fundamental conocer cómo realizar cada una de estas actividades que ayuden a obtener resultados acordes al correcto cumplimiento de la investigación.

3.10 Determinación de metales pesados

Actualmente, los metales pesados se detectan en el agua mediante espectrometría de absorción atómica, que es un sistema costoso y no portátil. No obstante, los metales pesados se detectan mediante el método de permeabilidad, que es una representación entre el agua pura y el agua que contiene metales pesados.

3.11 Análisis estadístico en Minitab 19

El software Minitab 19, un programa estadístico muy utilizado en el análisis de datos por su excelente capacidad para trabajar con grandes bases de datos proporciona resultados con valores específicos y válidos. Los datos obtenidos de las diferentes muestras de lodo fueron examinados cuantitativamente; en este levantamiento se utilizó tablas gráficos de variación, comparación y análisis estadísticos descriptivos que proporcionan un resumen conciso de los parámetros fisicoquímicos analizados, y a través de los valores resultantes se comprueba si la hipótesis planteada corresponde a que, a partir de los lodos residuales de la PTAR de Macas, es posible obtener un potencial calorífico adecuado para su uso como combustible. (Ver ANEXO 10)

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO

4.1 Obtención de muestras

Según la (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013), se obtuvieron resultados considerados como adecuados y concretos tanto en la obtención, manipulación y almacenamiento de las muestras de lodos de la PTAR de Macas. Ya que se siguió el lineamiento establecido en la norma antes mencionada y se pudo evitar la contaminación de las muestras al momento de su obtención y su conservación.

Para la obtención de muestras, se realizó un muestreo aleatorio simple en el programa ArcMap versión 10.5, con el fin de conocer cuál es el número correcto de muestras de lodos residuales y la ubicación en coordenadas, a partir de la dimensión de las lagunas de maduración de la planta de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Macas. A continuación, se presentan la ilustración 5-4

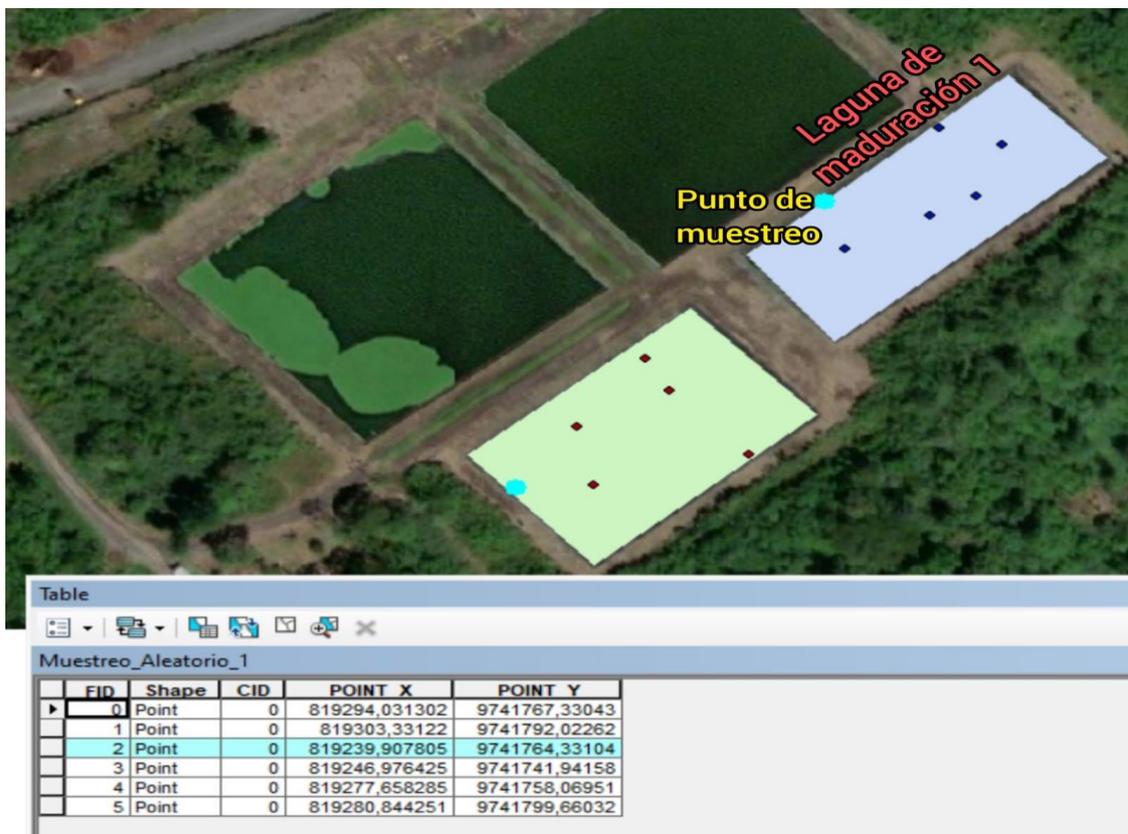


Ilustración 19-4: Selección punto de muestreo laguna de maduración 1

Fuente: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

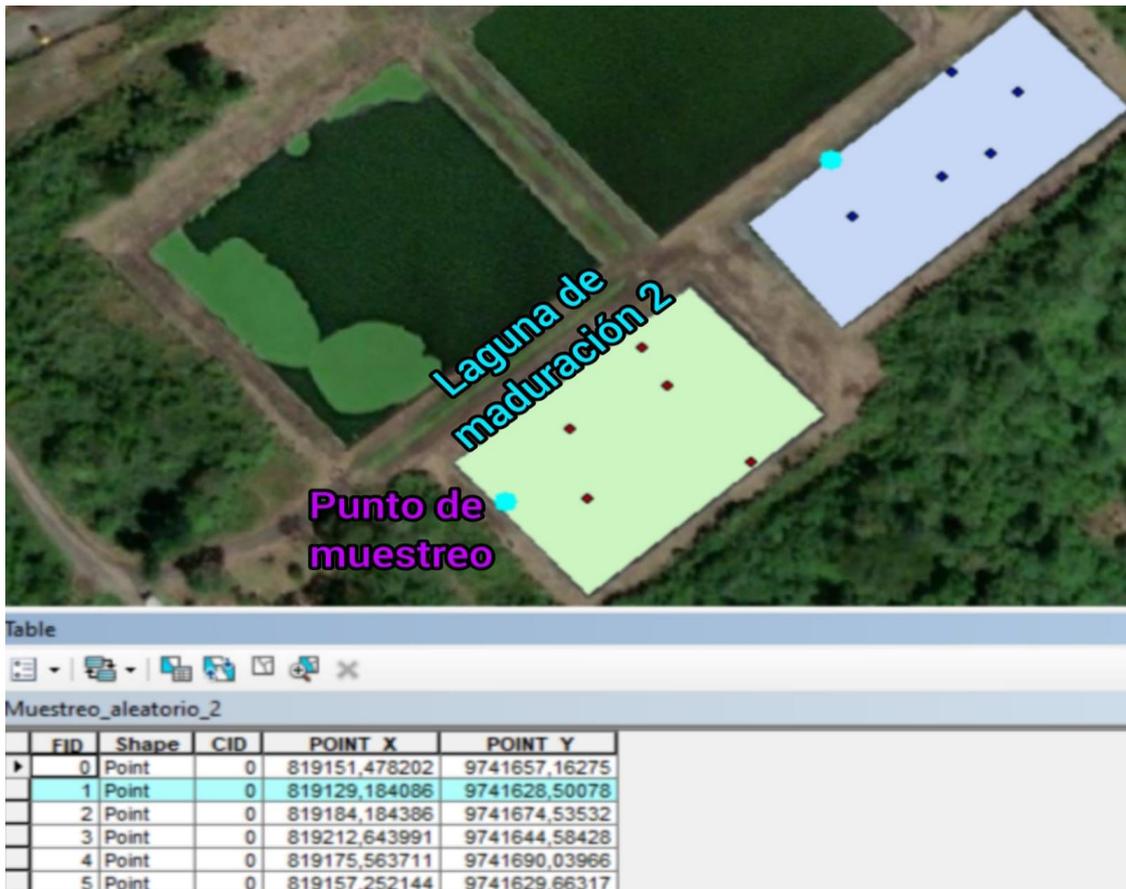


Ilustración 20-4: Selección punto de muestreo laguna de maduración 2

Fuente: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

4.2 Almacenamiento de muestras

Los resultados obtenidos en el almacenamiento de muestras fueron adecuados y presentaron buenos resultados, debido a que se cumplió con lo que establece la (Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013), por lo tanto, se realizó la refrigeración inmediatamente luego de la recolección de las muestras. El enfriamiento se realizó a una temperatura de 4°C y el almacenamiento en un lugar oscuro, lo que permitió tener un control de las distintas condiciones de la muestra hasta su traslado al laboratorio para su análisis de los parámetros fisicoquímicos de cada muestra de lodos obtenida de la PTAR de Macas.

4.3 Procedimiento operativo

El procedimiento operativo de las muestras brindó buenos resultados, conforme a los parámetros instaurados en la Norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2169:2013), se recolecto las muestras de lodos almacenadas en sus respectivos recipientes etiquetados correctamente. Se recalca que

los recipientes deben ser llenados casi en su totalidad, pero no completamente. De las muestras almacenadas se ocuparon 1000 gr que fueron secados en estufa y 2000 gr secados a temperatura ambiente. Se realizaron estos dos procesos de secado con la finalidad de conocer cuál de los dos procesos presenta mayor eficiencia en la verificación del contenido de poder calorífico, metales pesados y distintos parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio. Los resultados en valores entre los dos procesos fueron similares pero el secado en estufa presenta una ventaja representativa en el tiempo de secado a diferencia del secado a temperatura ambiente en donde el proceso requirió de semanas de secado de las muestras de lodos.

4.4 Parámetros físicos químicos

En la Tabla 13-4 se observan los resultados del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos examinados en el laboratorio como: potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), conductividad eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos totales (STD).

Tabla 13-4 Resultados de parámetros fisicoquímicos

Lodo	pH	Temperatura (°C)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (mg/L)
Muestra 1	6,58	24,1	819	616
Muestra2	6,40	23,5	820	620
Muestra 3	6,68	23,4	810	610
Muestra 4	5,70	24,1	845	634
Muestra 5	5,98	24,3	812	623
Muestra 6	6,60	24,8	823	628
Rango	6,68 – 5,70	24,8 – 23,4	845 - 810	634 - 610
Promedio	6,310	24,03	821.50	621,83

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

La temperatura de los lodos de la PTAR, en laboratorio se conservaron en un rango de 23,4 – 24,8 °C, con un promedio de 24,03°C. Los valores de pH se mantuvieron dentro de 5,70 – 6,68, con valor promedio de 6,310, siendo el pH 5,70 el valor mínimo y 6.68 el máximo, lo cual trata de un lodo casi neutro. La conductividad eléctrica tuvo un promedio de 827,5 µS/cm, y finalmente, los sólidos disueltos totales presentaron una variación significativa siendo mayor en la muestra 4, de la fecha del 29 de abril.

4.5 Análisis del método gravimétrico

Se obtuvieron valores sobre los parámetros relacionados al potencial calorífico, como es el caso del porcentaje de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo.

4.5.1 Porcentaje de humedad

La Tabla 14-4 detalla los valores de los porcentajes de humedad obtenidos en los seis muestreos realizados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas. Los porcentajes obtenidos tienen valores adecuados comprendidos en un rango mínimo de 93.329% hasta un máximo de 94.889 %.

Tabla 14-4 Contenido de humedad

Número de muestreos	Porcentaje de humedad (%H)
Muestreo 1	94,885
Muestreo 2	93,329
Muestreo 3	94,772
Muestreo 4	93,567
Muestreo 5	94,889
Muestreo 6	94,788
Rango	93,329 – 98,889
Promedio	94,372

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

4.5.1.1 Variación del porcentaje de humedad

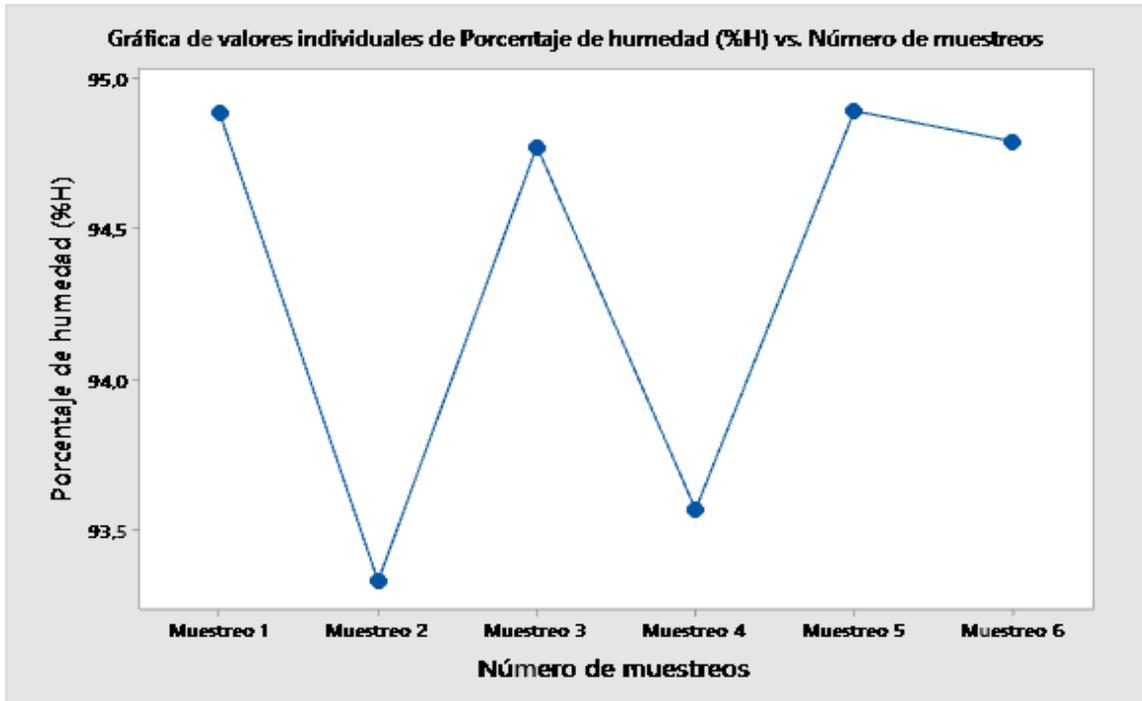


Ilustración 21-4: Variación del porcentaje de humedad

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

El gráfico 1-4 refleja la variación del porcentaje de humedad durante los seis muestreos realizados en los meses de marzo a mayo del 2022. En el muestreo uno se obtuvo un porcentaje de 94.885, en el muestreo tres 94.772%, en el muestreo cinco 94.889%, en el muestreo seis 94,788%. En estos meses se puede indicar que existió una constante del porcentaje de humedad ya que presentaron resultados equitativos sin mucha diferencia mientras que en el muestreo dos y muestreo cuatro se obtuvieron porcentajes inferiores a los otros muestreos tal es el caso del muestreo dos con 93.885 % y el muestro cuatro con un porcentaje de 93,567. Esto ocurre debido a las variables que influyen directamente en cada muestra analizada. Las principales variables que modifican los porcentajes de humedad son la temperatura, la toma de muestra y la trasportación de la misma, según el estudio efectuado por (Donado, 2013, p.19) en donde especifica que el 92-96% de humedad corresponden a lodos primarios se corrobora con esta investigación debido a que los porcentajes de humedad obtenidos en el análisis de las muestras de lodos corresponden a un rango entre 93.329 a 94.889% dando como resultado que las muestras analizadas fueron lodos primarios.

4.5.2 Porcentaje de material volátil

Tabla 15-4 Contenido de material volátil a partir de las muestras de humedad

Número de muestreos	Material volátil (% MV)
Muestreo 1	93,303
Muestreo 2	91,083
Muestreo 3	93,300
Muestreo 4	91,321
Muestreo 5	93,801
Muestreo 6	93,889
Rango	91,083 – 93,889
Promedio	92,783

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022.

La Tabla 15-4 contiene los porcentajes correspondiente a material volátil analizados en los seis muestreos de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas. Los porcentajes resultantes de los análisis efectuados otorgaron valores comprendidos en un rango de 91,083 hasta 93,889 % de material volátil.

4.5.2.1 Variación del porcentaje de material volátil

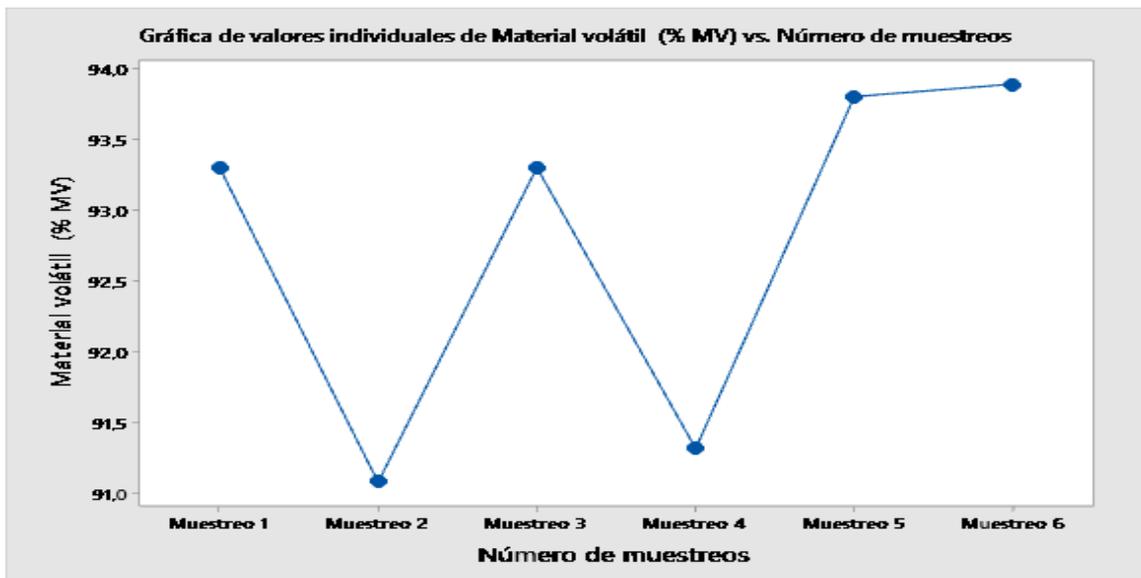


Ilustración 22-4: Variación del porcentaje de material Volátil

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022.

Los porcentajes de material volátil presentados en el gráfico 2-4 representan la variación de concentración de material volátil en cada uno de los muestreos de lodos analizados. Se pudo diferenciar porcentajes variables en todos los muestreos, esto dependió directamente de la concentración de materia orgánica en cada muestra. Los porcentajes resultantes del análisis del material volátil evidenciaron que los lodos tienen un gran contenido de material volátil lo que evidencia que existe demasiada cantidad de materia orgánica. Por el contrario, los valores resultantes en esta investigación no sobrepasan los límites permisibles ya que tanto en la investigación de (Amador, Veliz y Bataller, 2015, p. 3), como en la investigación de (Donado, 2013, p.19) se determinó que los límites aceptables se encuentran dentro de un rango comprendido de 80–93 % y en la investigación realizada con los lodos de la PTAR de Macas es de 91-93% de material volátil.

4.5.3 Contenido de ceniza

Los datos obtenidos de porcentaje de ceniza en base seca después de la calcinación de la muestra se resumen a continuación.

Tabla 16-4 Contenido de cenizas a partir de las muestras de materia volátil

Número de muestreos	Contenido de Ceniza (%C)
Muestreo 1	73,766
Muestreo 2	68,533
Muestreo 3	74,886
Muestreo 4	69,667
Muestreo 5	73,711
Muestreo 6	73,881
Rango	74,886 - 68,533
Promedio	72.407

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

Los resultados obtenidos del porcentaje de cenizas de las muestras de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas. Los porcentajes presentaron distintos valores comprendidos en el rango de 68.533 hasta 74.886 por ciento de contenido de ceniza. El porcentaje promedio de cenizas en base seca fue de 72.407%.

4.5.3.1 Variación del porcentaje de contenido de ceniza

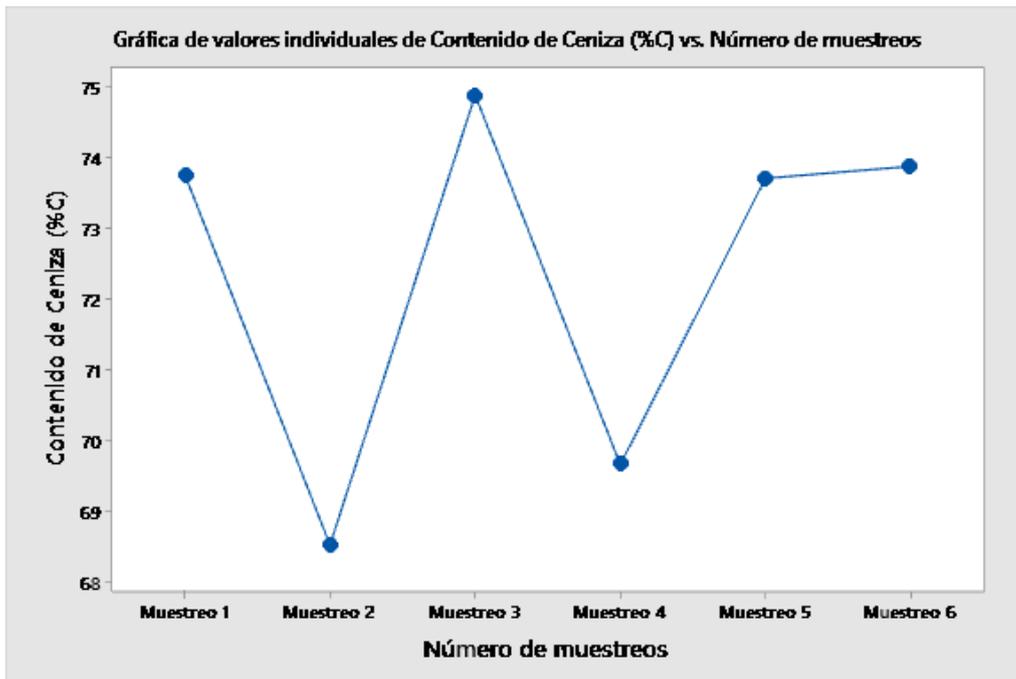


Ilustración 23-4: Variación del porcentaje de Cenizas

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

El gráfico 3-4 corresponde a las variaciones entre los porcentajes obtenidos de las muestras de lodos analizados de los seis muestreos efectuados en la PTAR de Macas. Presentando una variación significativa entre los resultados obtenidos en cada muestreo, tal es el caso que el valor mínimo pertenece al muestreo dos con un porcentaje de 68,533%, continuando con el muestreo cuatro con un valor de 69,667% siendo estos dos los valores bajos ya que los muestreos uno, tres, cinco y seis presentan un porcentaje mayor siendo el más alto 74,886% perteneciente al muestreo tres. Los valores varían unos a otros debido a distintas variables como la cantidad inicial de la muestra, el tiempo de secado y la temperatura, pero se recalca que se realizó en base a la investigación realizada por (Panduro, 2012, p.6) donde puntúa los lineamientos que se debe seguir para calcular el porcentaje de cenizas. (Ver Ecuación 3-2)

El cálculo del porcentaje de cenizas en la incineración de lodos es sustancial, para conocer las cantidades incineradas que se pueden generar y predecir así su gestión. El procedimiento continuo para la determinación de cenizas es el dictado bajo la norma ASTM D – 1762 Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal.

4.5.4 Carbono fijo

La tabla 17-4 corresponde a los resultados de carbono fijo obtenidos después de ser analizadas las muestras de lodos residuales de la PTAR de Macas, obteniendo un rango comprendido entre 152,945 y 162,958% y un valor promedio de 159,56% de carbono fijo.

Tabla 17-4 Contenido de cenizas a partir de las muestras de materia volátil

Número de muestreos	%Carbono fijo
Muestreo 1	161,954
Muestreo 2	152,945
Muestreo 3	162,958
Muestreo 4	154,555
Muestreo 5	162,401
Muestreo 6	162,558
Rango	152,945 – 162,958
Promedio	159,56

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

4.5.4.1 Variación del porcentaje de contenido de carbono fijo

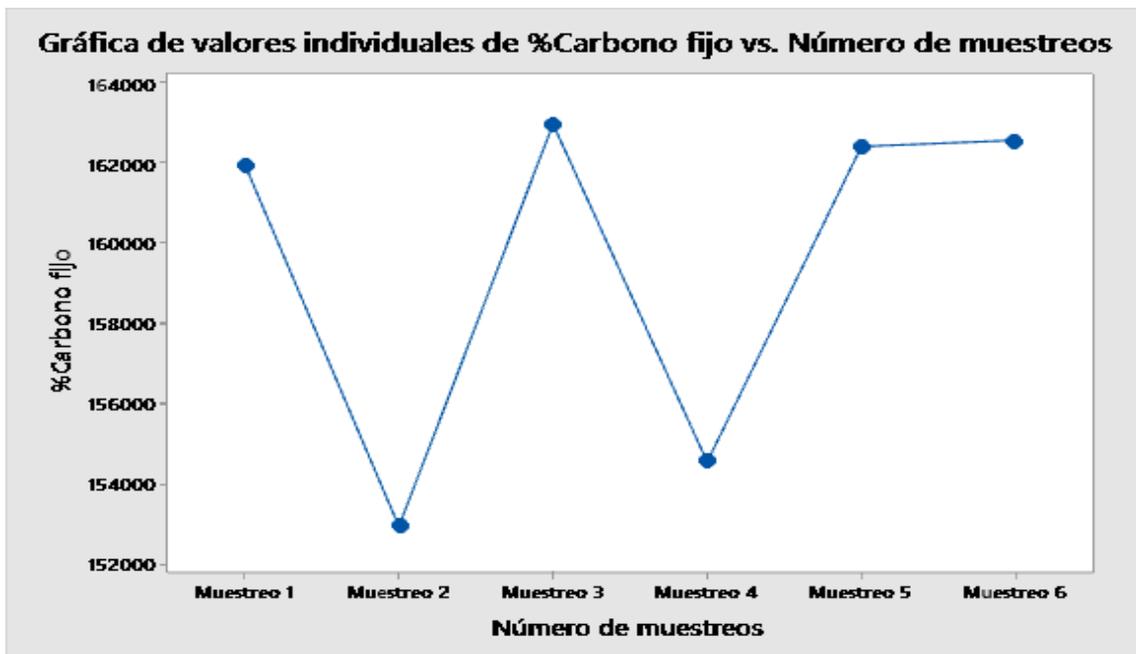


Ilustración 24-4: Variación del Carbono fijo

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

La variación de los porcentajes de carbonos fijos se ven reflejados en el gráfico 4-4 teniendo diferencias significativas entre las muestras analizadas para el cálculo correspondiente de estos resultados. Los valores más significativos son los resultados del muestreo dos al ser el mínimo, con un valor de 152,945 % y el valor máximo perteneciente al muestreo tres que tiene un valor de 162,958%. Se resaltan los valores del muestreo dos y tres que son similares con valores bajos. Mientras que los valores del muestreo uno, tres, cinco y seis tienen una equidad en sus porcentajes altos. Los valores no son semejantes debido a que influyen directamente en el porcentaje de carbono fijo, el contenido de humedad, el contenido de materia volátil y el contenido de cenizas, según el estudio realizado por (Estrada, 2021, p. 231), donde explica la importancia del carbono fijo para poder obtener resultados congruentes a la investigación realizada en la evaluación del potencial calórico de los lodos de la planta de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Macas

4.6 Porcentaje de humedad en lechos de secado

La Tabla 18-4 demuestra los valores de porcentajes de humedad secados en el lecho, durante las 4 semanas. Los porcentajes obtenidos ostentan valores dispares a los secados en laboratorio, con un promedio del 76,43%, esto debido a las condiciones climáticas del sector, como menciona (Alzate 2021, p. 21)

Tabla 18-4 Contenido de humedad en lechos de secado

Cantidad de lodo (g)	Después del secado (g)	Porcentaje de materia seca (%Ms)	Porcentaje de Humedad (%H)
2000 g	1529 g	23,56	76,43

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

4.7 Potencial Calórico - método de Goutal

El potencial calórico de un material sólido, nos indica la viabilidad que tendría el residuo como fuente energética (combustible), usar los lodos de la PTAR de Macas, resulta una alternativa que sustenta los principios del desarrollo sostenible, en lugar de hacer uso de los combustibles fósiles u otros tipos de carbones que generan cantidades exorbitantes de gases tóxicos como el CO₂, y CH₄. Además, dichos combustibles en la actualidad tienen costos elevados de adquisición. De la misma manera se logró estimar el valor energético o también llamado poder calórico de los lodos de la PTAR de Macas mediante el método de Goutal, los resultados se reflejan en la tabla 19-4.

Tabla 19-4 Potencial calórico inferior de lodos mediante el método de Goutal

Número de muestra	Método de Goutal (PCI)	Unidad	Criterio
Muestra 1	17507,952	KJ/kg	Cumple
Muestra 2	15797,49	KJ/kg	Cumple
Muestra 3	16652,556	KJ/kg	Cumple
Muestra 4	15929,51	KJ/kg	Cumple
Muestra 5	16572, 882	KJ/kg	Cumple
Muestra 6	16585,756	KJ/kg	Cumple
Rango	15797,49 - 17507,952	KJ/kg	Cumple
Promedio	16507,691 - 3945,43	KJ/kg – Kcal/kg	Cumple

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022.

Se pudo estimar el valor energético de los lodos de PTAR de Macas, mediante el método de Goutal, expresada en la tabla 19-4. El valor promedio de PCI que se obtuvo en las muestras fue 16507,691 de kJ/kg entre un rango de 15797,49 - 17507,952 KJ/kg.

4.7.1 Variación del potencial calórico- método de Goutal

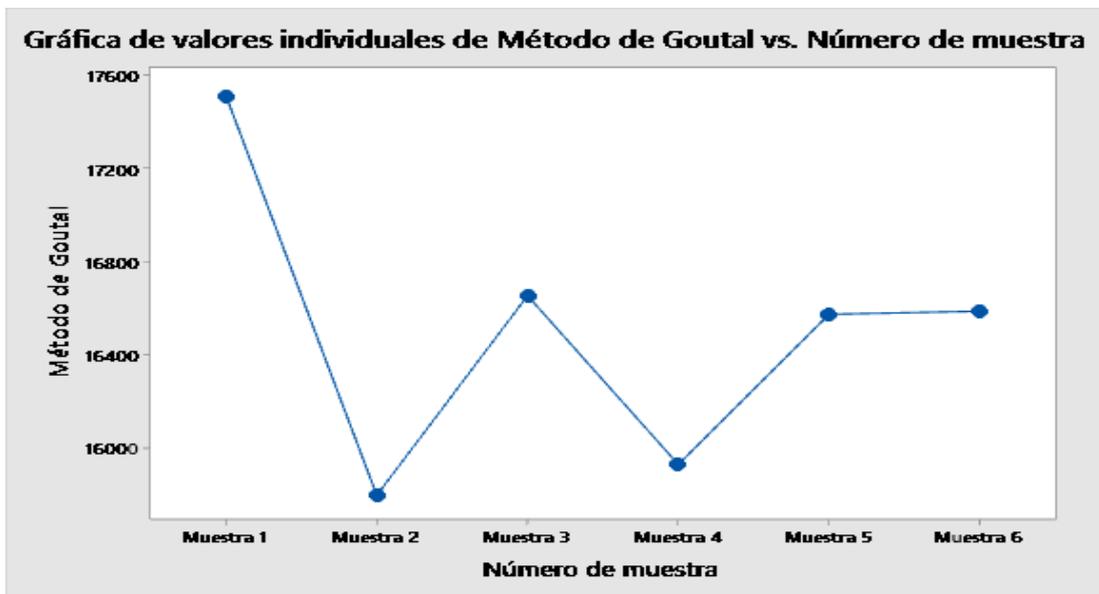


Ilustración 25-4: Variación del potencial calórico

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

En el gráfico 5-4 se representa los valores de los porcentajes del potencial calorífico obtenidos después del análisis de las seis muestras adquiridas de la PTAR de Macas. Los porcentajes considerables como el de la muestra uno que presento mayor contenido de potencial calorífico con un valor de 17507,952 KJ/kg, mientras que durante todos los análisis se obtuvo una constante en que el valor más bajo se constató en la muestra dos con un valor de 15797,49 KJ/kg, continuando con un valor bajo la muestra cuatro y se obtuvo una similaridad en los valores de la muestra tres, cinco y seis. Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación efectuada por (Gallego-Ocampo, 2015, p.101), donde especifica que el alto contenido de poder calorífico y de material volátil presentes en los lodos de aguas residuales, pueden actuar como materia prima aprovechable desde un punto de vista energético. El aprovechamiento de los lodos de la PTAR de Macas es fiable para beneficiar de manera energética debido a sus características y valores resultantes.

4.8 Potencial calorífico- laboratorio UCEM

Tabla 20-4 Potencial calorífico de los lodos mediante el software POLAB

Lodo	Poder calorífico Inferior	Poder calorífico Superior	UNIDAD	Equipo	Cálculo
500 g	3 639	3 906	Kcal/kg	Bomba Calorimétrica	Sistema POLAB APM QG1. QPO2. QPMO1

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

En la tabla 20-4, se describe el potencial calorífico calculado en el laboratorio de la Unión Cementara Nacional del Chimborazo (UCEM), mediante el software POLAB APM; con el fin de aprobar la información proporcionada mediante el método de Goutal. Los resultados reflejaron similaridad al método matemático de Goutal (Ver Anexo 13).

4.9 Metales pesados (Pb, Hg y S)

Tabla 21-4 Concentración de Metales presentes en la PTAR de Macas

Metal	Unidad	Resultado	Método/ Norma	Valor límite permisible	Criterio
Plomo	mg/ kg	24,93	PE-AL-18 EPA 3015 A – EPA 6010 D	300	Cumple

Mercurio	mg/ kg	< 0.05	EPA 3051 a -/ EPA 245.5	39	Cumple
Azufre	mg/ kg	<10,20	Cálculo –Método Turbidimétrico	125	Cumple

Fuente: LABCESTTA. S.A, 2022

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

La tabla 21-4 revela los valores de concentración de metales pesados presentes en los lodos en base seca, entre los que se puede destacar: plomo (Pb), mercurio (Hg) y azufre (S). Estos metales fueron analizados por el laboratorio LABCESTTA S.A por el método de espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de plomo encontrado en las 6 muestras está interpretado con 24,93 mg/ kg, con un nivel de confianza (K=2) de $\pm 14\%$. Para el mercurio, el valor promedio en mg/ kg fue < 0.05, valores que se encuentran por debajo del límite, según la normativa 004-SEMARNAT. Finalmente, el azufre presentó valores inferiores a los <10,20 de concentración. Por lo que se puede expresar que el metal con más concentración es el plomo, que se encuentra entre los 750 y 1200 mg/kg. Aun así, se encuentra bajo el límite permitido en lodos residuales (Ver anexo 12).

4.10 Potencial calórico de la PTAR de Macas con otros combustibles sólidos.

En la gráfica 6-4 se observan los datos de poder calórico de algunos carbones como: Antracita eléctrica, Antracita industrial, Hulla Industrial, Carbón Subbituminoso, Lignito, Coque de coquería y Alquitrán de hulla, en comparación con el poder calórico inferior de la PTAR de Macas. Además, se puede observar que el lodo residual de la PTAR de Macas sobrepasa el límite mínimo establecido para proceso de combustión y aprovechamiento energético de 3100 kcal/kg según el estudio de (López, Blanco y Gutierrez, 2012, p. 54). De manera similar, el potencial calórico del lodo de la PTAR de Macas es de 3945,43 kcal/kg.

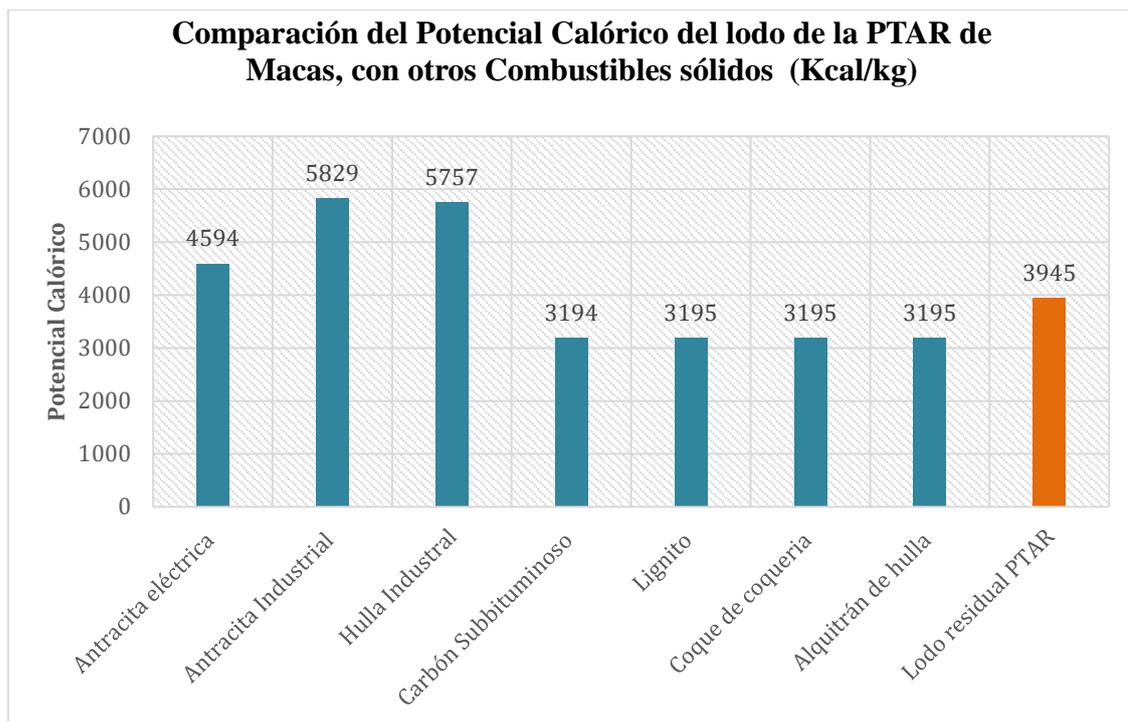


Ilustración 26-4: Variación del lodo de PTAR de Macas con otros carbones

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

En la variación de los lodos con otros combustibles (ver gráfico 6-4), se puede observar la variación de los diferentes valores de poder calorífico de los combustibles incluido los lodos residuales de la PTAR, siendo la antracita industrial el más alto con un valor de 5829 kcal/kg, seguido por la hulla industrial con un valor de 5757 kcal/kg, después por la antracita eléctrica con un valor de 4595 kcal/kg, ubicando en cuarto puesto al lodo residual obtenido de la PTAR con un valor de 3945,43 kcal/kg indicando que posee un alto porcentaje de agua (90%) y una cantidad sólida aprovechable del 10 % lo cual según (Colomer, 2009) sería un lodo útil para la industria papelera.

5 DISCUSIÓN

Tabla 22-4 Tabla general de los parámetros fisicoquímicos de los lodos de la PTAR de Macas

Estadísticos Descriptivos										
		pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (μ S/cm)	Sólidos Disueltos totales (mg/L)	%Humedad	%Materia Volátil	%Ceniza	%Carbono fijo	Potencial calórico Inferior (kJ/kg)
N	Válido	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		6,310	24,033	821,50	621,83	94,372	92,783	72,41	159,56	16508
Mediana		6,450	24,100	819,50	621,50	94,780	93,302	73,74	162,18	16579
Desviación Estándar		0,386	0,520	12,53	8,54	0,721	1,251	2,62	4,54	612
Varianza		0,149	0,271	157,10	72,97	0,520	1,565	6,88	20,63	374106
Rango		0,980	1,400	35	24	1,560	2,806	6,35	10,01	1710
Mínimo		5,70	23,40	810	610	93,329	91,083	68,53	152,94	15797
Máximo		6,68	24,8	845	634	94,889	93,889	74,89	162,96	17508
Percentiles	(Q1) 25	5,910	23,475	811,50	614,50	93,507	91,261	69,38	154,15	15897
	(IQR)	0,710	0,950	17	15	1,379	2,562	4,75	8,51	970
	Q3 (75)	6,620	24,425	828,50	629,50	94,886	93,823	74,13	162,66	16866

Fuente: Minitab 19

Realizado por: Jimpikit Wisum, Nancy, 2022

Como se observó en la tabla 22-4, se realizó un análisis estadístico con el fin de verificar los datos y así corroborar los resultados obtenidos mediante el estudio realizado, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Macas. Se realizó un análisis descriptivo empleando el Software Minitab 19, mediante el cual se obtuvo un matriz de valores para las medidas de tendencia central, y medidas de dispersión, así como, el punto máximo y mínimo.

Tras el monitoreo de las 6 muestras tomadas en las lagunas correspondientes a la PTAR de Macas se determinó que los parámetros físicoquímicos se encuentran dentro de un rango constante dando estabilidad a los lodos: pH (0,980), T (1,4°C), conductividad eléctrica (35), Sólidos totales (24), humedad (1,560%), materia volátil (2,806), ceniza (6,35), carbono fijo (10,01), potencial calórico (1710), cuyos puntos mínimos están entre el Ph 5,70 y 68,53 en %Ceniza, y los puntos máximos están entre el ph 6,68 y 162,96 en % carbono fijo. Las medias de tendencia natural presentan una media con valores de: 6,310; 24,033; 821,50; 621,83; 94,372; 92,783; 72,41; 159,56; 16508 y una mediana con valores de: 6,450; 24,100; 819,50; 621,50; 94,780; 93,302; 73,74; 162,18; 16579 respectivamente. Las medidas de dispersión presentaron valores de desviación estándar correspondientes a: 0,386; 0,520; 12,53; 8,54; 0,721; 1,251; 2,62; 4,54; 612 y de varianza correspondientes a: 0,149; 0,271; 157,10; 72,97; 0,520; 1,565; 6,88; 20,63; 374106. Los valores estadísticos indican que existe una consistencia en el monitoreo realizado puesto que la media y la mediana de los diferentes parámetros presentan valores muy cercanos entre sí, obteniendo así una asimetría positiva entre estos valores.

Por otra parte, los percentiles nos indican que el 25, 50 y 75% de los valores obtenidos son menores a los reflejados en la tabla, por lo que es evidente que al menos el 50% de los valores son inferiores al valor promedio de los parámetros, indicando que existe cierta homogeneidad entre sí; es decir ninguno de ellos supera el límite permisible máximo establecido por normativa por lo que es necesario dar tratamiento a los mismo para así poder utilizarlos para fines ambientales, o simultáneamente perseguir otros propósitos que puedan ser aprovechados (Ver anexo 10).

Para validar la información del análisis estadístico de los parámetros físicoquímicos, se aplicó una herramienta similar denominada IBM SPSS Statistics, que cumple la misma función de realizar los procedimientos de variables entre sí y confirmación de datos (Ver Anexo 11).

6 CONCLUSIONES

- Los parámetros físicoquímicos de los lodos, derivados de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macas, fueron concluyentes para conocer la calidad y volumen de estos considerando sus características como el porcentaje de humedad, la misma que representa la cantidad de agua que al puede ser eliminada mediante el secado y el tiempo que transcurre.

- La disminución de agua mediante el secado en estufa fue del 90 % y la elaboración de un lecho de secado (provisional) a temperatura ambiente proporcionó el 75% de humedad. Considerando el objetivo de estudio de minimización de costos, reducción de emisiones, no se estiman riesgos adicionales para la salud derivados de la concentración de metales pesados. El segundo método resulta eficaz en el secado de lodos para recuperación energética, de este modo se descarta el secado en el laboratorio como sistema de gestión, debido al costo económico del equipo, costos de operación y tratamiento de gases.
- El potencial calórico que representa los lodos de la planta de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Macas, son idóneos para adecuarlos a procesos de aprovechamiento energético, ya que al compáralos con otros combustibles el potencial calórico de los lodos supera las 3100 kcal/kg, valor mínimo para alcanzar el rendimiento energético en incineración de lodos. Los datos aportados demuestran que el potencial calorífico de los lodos en base seca, mediante el método de Goutal representó un valor similar al de otros carbones como: la antracita eléctrica (5.34 Kwh/kg), alquitrán de hulla (3.71 Kwh/kg), coque de coquería (3.71 kwh/kg), lignito (3.71 kwh/kg), y el carbón subbituminoso (3.71 kwh/kg), las mismas que demuestran una viabilidad económica como aprovechamiento energético en el sector industrial. El potencial calórico que presentó el lodo de la PTAR de la ciudad de Macas fue de 3945,433 Kcal/kg, mientras que el análisis ejecutado en laboratorio confirmó el valor calórico que posee los lodos , concretando así el aporte para futuros trabajos de minimización de recursos y valorización energética.

7 RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se han asociado, conforme a los aspectos ocasionados durante el desarrollo del estudio para el aprovechamiento energético y minimización de los residuos.

- Se recomienda al Municipio del cantón Morona establecer criterios de operación y mantenimiento a la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macas, mediante el adecuado control de gestión y tratamiento de las aguas que ingresan a las lagunas de estabilización; establecer medidas de seguridad con el fin de evitar accidentes y limpieza prolongada para evitar los malos olores y presencia de roedores.
- Se recomienda la deshidratación de lodos en lechos de secado, siempre y cuando se instale una cubierta.
- Se recomienda realizar estudios de suelo que permita aprovechar de forma racional los sitios adecuados para una disposición final de los lodos depurados.

- Se invita a las agrupaciones sociales conformadas por estudiantes y científicos a continuar con el estudio de investigación.

GLOSARIO

Laguna de oxidación/ Estabilización: Cuerpo artificial (antropogénico) de agua, en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural los patógenos relacionados con la materia orgánica.

Muestra Compuesta: Combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos, empleadas para observar concentraciones promedio.

Punto de muestreo: Lugar o área determinada del suelo donde se toman las muestras, sean éstas superficiales o de profundidad.

Contaminación de muestra: Introducción de contaminantes en las muestras, causada por materiales circundantes.

PH: Variable química que nos permite medir el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia.

Temperatura: Propiedad que determina si un sistema se encuentra o no en equilibrio térmico con otros sistemas.

Conductividad Eléctrica: Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica.

Contenido de humedad: Es la relación expresada como porcentaje del peso de agua en una masa dada de suelo al peso de las partículas sólidas.

Sólidos Volátiles: Estiman la cantidad de materia orgánica que queda en un lodo o biosólido.

Porcentajes de cenizas: El valor de ceniza se determina mediante la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.

Poder calorífico: El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

Límite Máximo Permisible: Medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

LISTA DE ACRÓNIMOS

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

EDAR: Estación depuradora de aguas residuales.

POLAB: Automatización Polysius de LABORatorio

EPA: Agencia de Protección Ambiental

SEMARNAT: secretaria del Medio Ambiente y Recursos Narturales de México

UCEM: Unión Cementera Nacional del Chimborazo.

BIBLIOGRAFÍA

ALTAMIRANO, E. Guía para muestreo de suelos. *Ministerio del Ambiente* [en línea]. 2014, pp. 38. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf.

AMADOR, A.; et al. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 46, (2014), pp. 1-10. ISSN 1015-8553.

ARHOUN, B. Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora [en línea]. 2017, S.l.: s.n. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=214357>.

ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. *Constitución de la República del Ecuador.* *Iusrectusecart*, no. 449, 2008 pp. 1-219.

ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. *Código Orgánico Del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983* [en línea], 2017, pp. 1-92. Disponible en: http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PROCU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf.

BARRACHINA, J.R. Características y valorización de los residuos de origen urbano. Escuela

Politécnica Superior De Orihuela [en línea], 2015, pp. 112. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2027/1/TFM Rico Barrachina, Javier.pdf>.

BERMÚDEZ, R.; et al. Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. *Tecnología Química*, vol. XXIII, no. 2, 2003, pp. 37-45.

BOUZA-DEAN, R. & SALAS, J. Distribución y variabilidad espacial de los lodos en un sistema de balsas de estabilización de aguas residuales sin desarenado.pdf. Fundación centro de nuevas tecnologías del Agua, 2012, pp. 1-14.

CARDOSA, L. & RAMÍREZ, E. Vermicomposting of sewage sludge: A new technology for Mexico. *Water Science and Technology*, vol. 46, no. 10, (2002), pp. 153-158. ISSN 02731223. DOI 10.2166/wst.2002.0316.

CARRASCO, C. *Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales*. S.l.: s.n, 2007, p. 32

CERVANTES-COCOM, G. & CHAN-CEH, G. *Water management and environmental education as facilitators of sustainable tourism development in Valladolid, Yucatan*. S.l.: s.n. ISBN 0000000175, 2020, p.36

CAMPOS MEDINA, E.; et al. Análisis básico del reuso de los lodos residuales de una PTAR. *Quivera*, 2009. vol. 11, no. 2, pp. 35-51.

CANO, L.. *Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha*. 2016 , pp. 102.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. [en línea]. 2007, S.l.: s.n. ISBN 9789688178805. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLasGunasDeEstabilizacion.pdf>.

CORRALES ZARAUZA, J. Sobre el cálculo de la potencia calorífica de los carbones españoles a partir de los datos del análisis inmediato.pdf . 2012, p. 8

COA. *Código Orgánico del Ambiente*. 2017. S.l.: s.n. ISBN 8909820179.

COMISIÓN LEGISLATIVA. *Código Penal Ecuador. Registro Oficial Suplemento 147 de 22-*

ene-1971 [en línea], 2012, vol. 1971, pp. 1-170. Disponible en: http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_ecu_penal.pdf.

CUEVAS, J.;et al. 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], 2006, vol. 6, no. 2, pp. 1-12. DOI 10.4067/s0718-27912006000200001. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n2/art01.pdf>.

CHICÓN, L. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Trabajo de investigación del Programa de Doctorado [en línea], 2003. Disponible en: https://www.pilcomayo.net/media/uploads/biblioteca/libro_902_MA-271.pdf.

DIAZ SANTOS, M.G. *Diáspora Hídrica Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua*. 2020, pp. 112-120.

DODANE, P.H. & RONTELTAP, M. Lechos de Secado sin Plantas. *Manejo de lodos fecales* [en línea], 2014, vol. Capitulo 7, pp. 139-151. Disponible en: http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_low_res/manejo_fsm_cap7_120ppi.pdf.

DONADO, Roger. PLAN DE GESTIÓN PARA LODOS GENERADOS EN LAS PTAR-D DE LOS MUNICIPIOS DE CUMARAL Y SAN MARTÍN DE LOS LLANOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META. *www. averiana.edu.co*. [En línea] 08 de 2013. [Citado el: 07 de 14 de 2022.] <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13496/DonadoHoyosRoger2013.pdf>.

DURÁN, P. *Perfil de proyecto formato senplades*. Alcaldía Morona [en línea], 2015, pp. 1-70. Disponible en: <http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/SUBSISTEMA12/MEMORIA TECNICA ALCANTARILLADO SUBSISTEMA 12.pdf>.

ESTRADA, J.E., & CABRERA, C.F. Valoración energética de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas – Lima. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, vol. 24, no. 48, 2021, pp. 229-233. ISSN 1561-0888. DOI 10.15381/iigeo.v24i48.21775.

FERIA- DÍAZ, J.J. & MARTINEZ, L.E. Tratamiento De Lodos De Fondo De Lagunas

Facultativas Con Estabilización En Condiciones De Laboratorio Bottom Sludge Treatment of Facultative Ponds With Stabilization in Laboratory Conditions. *Revista EIA*, vol. 6, no. 1794-1237,2014, pp. 113-122. DOI 10.14508/reia.2014.11.21.113-122.

FIORAVANTI, M. & VEGA, N. Universidad Earth Eficiencia De Los Microorganismos Eficaces (*Em*) *En La*. S.l.: s.n. 2003, p. 13

HERGUEDAS, A., et al. *Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad. Transbioma* [en línea], 2012, vol. 13, no. 2, pp. 105-109. ISSN 0924977X. Disponible en: [http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf](http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf).

HOOKER, K. & GAMEZ, A.L.A. *Validación de la determinación de cloruros y humedad, para la evaluación de combustibles alternos para hornos de cementeras.* Tecnología en Marcha, vol. 23, no. 3. 2010, pp. 24-32.

LABCESTTA, S.A. *DE RASTRO QUITO*. 2020. S.l.: s.n. ISBN 5939925642.

LACA, A. & DÍAZ, J.M. Producción y características de lodos. Ediciones Paraninfo [en línea], 2019, pp. 251-262. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/50969>.

LARA PUGA, K.G. “CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LODOS DE DEPURACIÓN PROVENIENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EPMAPS - AGUA DE QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA., vol. 110265, (2017), pp. 110493.

LEAL ALZATE, L.M. *EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS LECHOS DE SECADO EN DIFERENTES PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO*. 2021. S.l.: s.n. p. 21

LIMA, Juan. *Valoración energética de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas:* s.n., 23 de 12 de 2021, Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, Vol. 24, págs. 229-233.

LIMÓN, J.G. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? *Academia de Ingeniería México* [en línea], 2013, pp. 45. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/presentacion/los-lodos-de-las-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales->

¿problema-o-recurso.

LÓPEZ DÍAZ, A.; et al. Mejora del rendimiento en una cementera mediante el empleo de combustibles alternativos. *M+A. Revista Electrónica de Medioambiente*, 2012, vol. 0, no. 12, pp. 47-61. DOI 10.5209/rev_mare.2012.n12.39690.

MALLA, R.; et al. *Efecto del riego de aguas residuales a corto plazo sobre la acumulación de sustancias químicas en suelos y vegetales*. 2007. S.l.: s.n.

MARAMBIO, C., & ORTEGA, R. Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. *Revista Agronomía y Forestal UC*, vol. 20, 2003, pp. 20-23.

MASŁON, A.: et al. *The Enhancement of Energy Efficiency in a Wastewater Treatment Plant through Sustainable biogas use*. *MDPI ENERGIES*, 2020, pp. 1-21.

MERCADO, A. Lagunas de estabilización RALCEA: Eje Calidad de Agua y Saneamiento Curso " Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales para Reuso Módulo 1: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Reuso. *Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental UMSS*, 2013, vol. Módulo I, pp. 1-66.

MESSA, F.J.C. *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DE UN REACTOR U.A.S.B. PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS*. 2006, S.l.: s.n. p. 8

MINAM. Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales. *Manual para municipios ecoeficientes* [en línea], no. 511, 2009, pp. 179. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, A. y M.A.-E. Ficha Técnica de Lodos de Depuradora. *Catálogo de residuos utilizables en construcción*. [en línea]. 2013. Disponible en: http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_LODOSDEDEPURADORADIC2013.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental. *Comisión, L A Codificación, D E Legislación Y* [en línea], 2004a, no. 374, pp. 20-30-120. Disponible en: www.lexis.ec.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Norma de Calidad del Aire Ambiente. Estudio de Mercado e Avaliação Socioeconómica e Financeira da Linha de Alta Velocidade Madrid-Lisboa/Porto*,

2004b. pp. 124.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Libro VI de la Calidad Ambiental. Ecuador Forestal* [en línea], 2020, pp. 1-289. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI.pdf>.

MONTES, M.A. & MENENDEZ, J.A. *El problema de la gestión de lodos en EDARs* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. Disponible en: [http://www.sistemamid.com/El problema de la gestión de lodos en EDARs.pdf](http://www.sistemamid.com/El%20problema%20de%20la%20gesti3n%20de%20lodos%20en%20EDARs.pdf).

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR [MAE]. *Revisión Del Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua. Registro Oficial No. 387* [en línea], 2015, no. 97, pp. 1-40. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>.

NADAL, M.; ET AL. Análisis costo-beneficio del uso de lodos de depuradora como combustible alternativo en una planta de cemento: un estudio de caso. *Environ Sci Pollut Res* 16, 322–328 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11356-008-0063-7>

NOYOLA, A.; et al. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales* [en línea]. 2013 S.l.: s.n. ISBN 9786070248221. Disponible en: <http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>.

OMS/UNICEF. *Progresos en Materia de agua potable, saneamiento e higiene.* (2017). S.l.: s.n. ISBN 978-92-4-351289-1.

OROPEZA GARCIA, N. Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, vol. 1, no. figura 1, 2006, pp. 51-58.

OAKLEY, S. *Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento , Monitoreo y Sostenibilidad de Lagunas de Estabilización en Honduras.* 2005 , pp. 1-255.

OJEDA CASTRO, F.G. *Aplicaciones en superficie de lodos de depuradora y sus repercusiones sobre la erosión y las propiedades físicas del suelo.* [en línea]. 2005. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=5540&info=resumen&idioma=SPA>.

PANDURO, Carlos. “UTILIZACIÓN INDUSTRIAL Y MERCADO DE DIEZ ESPECIES MADERABLES POTENCIALES DE BOSQUES SECUNDARIOS Y PRIMARIOS RESIDUALES”. *www.itto.int*. [En línea] 16 de 07 de 2012. [Citado el: 07 de 06 de 2022.] http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD512.08_Technical%20report%20%20Transformacion%20quimica%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf.

PCDOT. MORONA. Actualización Pd Y Ot Cantón Morona. [en línea]. 2014, pp. 24.

Disponible en:

http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1460000290001_DOCUMENTO_FINAL_PCDOT_M_2015-2019_15-03-2015_21-36-57.pdf.

PEÑA, J.; et al. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Interceptores y Unidades de Tratamientos del Sistema de Alcantarillado de la Ciudad de Macas. *Alcaldía Morona* [en línea]. 2014, vol. 45, no. 5, pp. 4-80-81. ISSN 0132-3423. Disponible en: [http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/PTRATAMIENTO/Estudio de impacto ambiental - incluye plan de manejo.pdf](http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/PTRATAMIENTO/Estudio_de_impacto_ambiental_-_incluye_plan_de_manejo.pdf)

SAGASTUME, D. Aprovechamiento Energético de los Lodos Obtenidos a Partir del Tratamiento de Aguas Urbanas., 2019, pp. 1-35.

ROJAS, R. & MENDOZA, L. Use of biosolids for energetic recovery in México. *Producción más limpia*, 2012, vol. 7, no. 2, pp. 74-94.

SAGASTUME, D. Aprovechamiento Energético de los Lodos Obtenidos a Partir del Tratamiento de Aguas Urbanas. 2019 , pp. 1-35.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación* [en línea], 2003, pp. 1-37. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003.

SUÁREZ, C. & MARTÍNEZ, J. Olfatometría a los olores procedentes del tratamiento de lodos de las EDAR. 2004 , pp. 2-8.

VÁZQUEZ, María. MUESTREO PROBABILÍSTICO Y NO

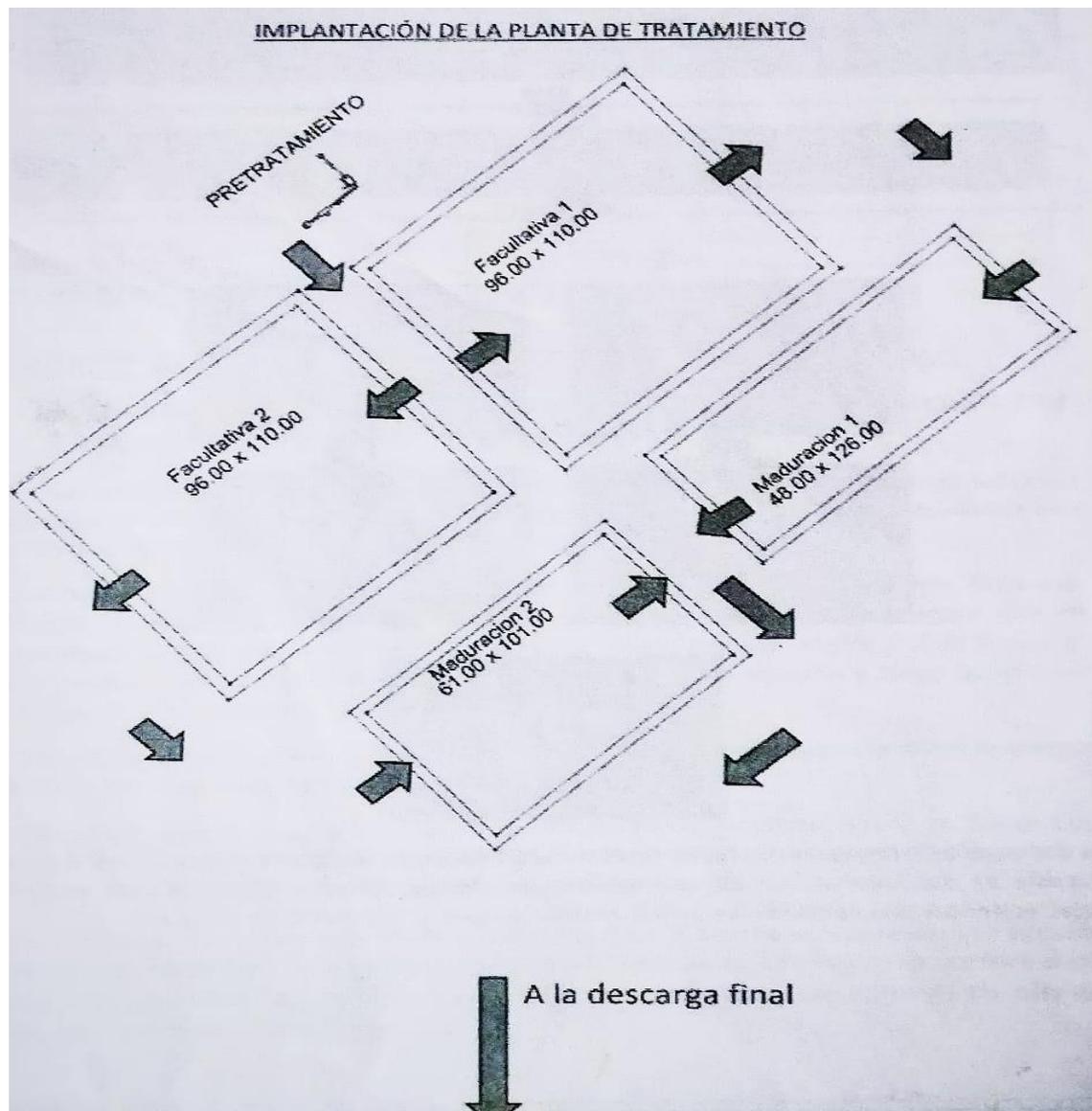


UNIVERSIDAD DEL ISTMO. [En línea] 2017. [Citado el: 06 de 06 de 2022.]
<https://www.gestiopolis.com/wp-content/uploads/2017/02/muestreo-probabilistico-no-probabilistico-guadalupe.pdf>.

YÁNEZ, F. Lagunas De Estabilizacion. [en línea], 1971, pp. 33. Disponible en:
<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/04828/04828-03.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MACAS



Fuente: (GADM, Morona, 2017)

ANEXO B: RECORRIDO POR LA PTAR DE MACAS



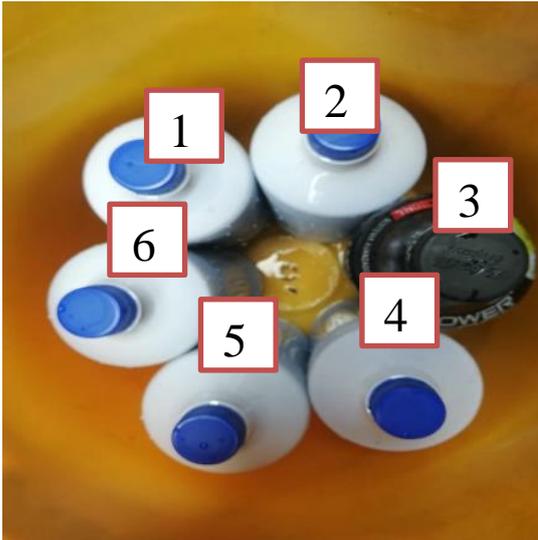
ANEXO C: LAGUNAS DE MADURACIÓN 1 Y 2



ANEXO D: OBTENCIÓN DE MUESTRAS



ANEXO E: CONSERVACIÓN DE LODOS A - 4 °C



ANEXO F: PROCESO DE ELABORACIÓN DE LECHO DE SECADO DE LODOS.



Paso 1: Colocación de capa impermeable (Plástico color negro) **Paso 2:** Llenar con arena (50%) y grava (50%)



Paso 3: Verter 3 litros lodo residual al lecho

Paso 4: Dejar secar 3 semanas
a temperatura ambiente

ANEXO G: SECADO DE LODOS EN ESTUFA PARA ANÁLISIS DE METALES PESADOS



ANEXO H: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Secado de muestra



Colocación de muestras en el desecador



Incineración de muestras



Pesado de muestra



ANEXO I: DETERMINACIÓN DE T, CE, PH Y STD EN LABORATORIO



Multiparamétrico PC4005 Model

ANEXO J: SOFTWARE ESTADÍSTICO MINITAB 19. CALCULO: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Minitab - Análisis minita media.mpx

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente

Navegador

Estadísticos descriptivos: Co...
 t pareada
 Análisis de capacidad para ...
 Análisis de capacidad para ...
 Análisis de capacidad para ...
 Estadísticos descriptivos: Co...
 Estadísticos descriptivos: p...
 Estadísticos descriptivos: p...
 Estadísticos descriptivos: p...
 Estadísticos descriptivos: p...
 Estadísticos descriptivos: p...

Estadísticos descriptivos: p... x

HOJA DE TRABAJO 1

Estadísticos descriptivos: pH; Temperatura; Conductividad eléctrica; Sólidos Disueltos t...

Variable	Conteo			Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo
	total	N	PrcAcum					
pH	6	6	100	6,310	0,386	0,149	6,12	5,700
Temperatura	6	6	100	24,033	0,520	0,271	2,16	23,400
Conductividad eléctrica	6	6	100	821,50	12,53	157,10	1,53	810,00
Sólidos Disueltos totales	6	6	100	621,83	8,54	72,97	1,37	610,00
%Humedad	6	6	100	94,372	0,721	0,520	0,76	93,329
%Materia Volátil	6	6	100	92,783	1,251	1,565	1,35	91,083
%Ceniza	6	6	100	72,41	2,62	6,88	3,62	68,53
%Carbono fijo	6	6	100	159,56	4,54	20,63	2,85	152,94
Potencial calórico (PCI)	6	6	100	16508	612	374106	3,71	15797

Variable	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango	IQR
Temperatura	23,475	24,100	24,425	24,800	1,400	0,950
Conductividad eléctrica	811,50	819,50	828,50	845,00	35,00	17,00
Sólidos Disueltos totales	614,50	621,50	629,50	634,00	24,00	15,00
%Humedad	93,507	94,780	94,886	94,889	1,560	1,379

	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Muestras	pH	Temperatura	Conductividad eléctrica	Sólidos Disueltos totales	%Humedad	%Materia Volátil	%Ceniza	%
2 M2	6,40	23,5		820	620	93	91,083	69
3 M3	6,68	23,4		810	610	95	93,300	75
4 M4	5,70	24,1		845	634	94	91,321	70
5 M5	5,98	24,3		812	623	95	93,801	74
6 M6	6,60	24,8		823	628	95	93,889	74

ANEXO K: SOFTWARE ESTADÍSTICO SPSS

*Resultado1 [Documento1] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Registro

Frecuencias

Título

Notas

Conjunto de datos

Estadísticos

Tabla de frecuencias

Título

ph

Temperatura

Conductividad eléctrica

Sólidos Disueltos totales

%Humedad

%Materia Volátil

%Ceniza

%Carbono fijo

Potencial calórico (PCI)

Gráfico de barras

Título

ph

Temperatura

Conductividad eléctrica

Sólidos Disueltos totales

%Humedad

%Materia Volátil

%Ceniza

%Carbono fijo

Potencial calórico (PCI)

Activar Windows
 Ve a Configuración para activar Windows.

Frecuencias

[ConjuntoDatos3]

		Estadísticos								
		ph	Temperatura	Conductividad eléctrica	Sólidos Disueltos totales	%Humedad	%Materia Volátil	%Ceniza	%Carbono fijo	Potencial calórico (PCI)
N	Válido	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	6,3233	24,033	821,50	621,83	94371,67	92,78283	59938,81433	159561,83	16507,700
	Mediana	6,4900	24,100	819,50	621,50	94780,00	93,30150	71689,00000	162177,50	16579,350
	Desv. Desviación	,39546	,5203	12,534	8,542	721,025	1,250975	29419,16464	4541,919	611,6283
	Varianza	,156	,271	157,100	72,967	519877,467	1,565	865487248,4	20629030,97	374089,196
	Rango	,98	1,4	35	24	1560	2,806	73806,114	10013	1710,4
	Mínimo	5,70	23,4	810	610	93329	91,083	74,886	152945	15797,5
	Máximo	6,68	24,8	845	634	94889	93,889	73881,000	162958	17507,9
	Percentiles	25	5,9100	23,475	811,50	614,50	93507,50	91,26150	51418,47150	154152,50
		50	6,4900	24,100	819,50	621,50	94780,00	93,30150	71689,00000	162177,50
		75	6,6200	24,425	828,50	629,50	94886,00	93,82300	73794,75000	162658,00

Tabla de frecuencia

		ph			
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	5,70	1	16,7	16,7	

ANEXO L: ANÁLISIS DE LABORATORIO LABCESTTA S.A

 <p>LABCESTTA TECNOLOGÍA Y CALIDAD</p>	<p>DEPARTAMENTO: ANALITICALAB</p>	<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE</p>
		<p>ACREDITACIÓN Nº SAE LEN 18-034</p>

INFORME DE RESULTADOS No: LD-027-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	NANCY JIMPIKIT	ATENCIÓN A.	Nancy Jimpikit
DIRECCIÓN:	24 de Mayo y Juan de Salinas	TELÉFONO:	0988157533
TIPO DE MUESTRA:	Lodos	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Lodo residual – Launa de maduración. Número de submuestras: 2
CÓDIGO CLIENTE:	Dato no proporcionado por el cliente	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA, RESPONSABLE:	03/06/2022 9:45 am Nancy Valeria Jimpikit

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	CLIENTE	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	N.A.	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	28/01/2022 17:40	FECHA DE ANÁLISIS:	28/01/2022 - 07/02/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	07/02/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-LD-027-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	N.A.	COORDENADAS:	N.A.
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Plomo	mg/kg	24,93	±14%	PE-AL-18 EPA 3015A – EPA 6010D	-
*Mercurio	mg/kg	<0,05	-	EPA 3051 a / EPA 245.5	-
*Azufre	mg/kg	<10,20	-	Calculo	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:


Ing. Verónica Bravo
 DIRECTORA TÉCNICA


LABCESTTA
 TECNOLOGÍA Y CALIDAD
 RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de conformidad IE-AL-26.

ANEXO M: ANÁLISIS DE LABORATORIO DE UCEM

 		INFORME DE LABORATORIO REPORTE DE ANÁLISIS Y ENSAYOS LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD - UCEM S.A PLANTA CHIMBORAZO		RCC-LB- 0088- GL
MUESTRA:	M 01	Fecha Muestra:	21/6/2022	Temp. Amb.: 20
		Fecha Reporte:	4/8/2022	Humedad: 37
PARA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo			
ANÁLISIS QUÍMICO - XRF	MUESTRA 1			
Óxidos	Composición	M 01		
Dióxido de Silicio	SiO ₂	%	0	
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%	0	
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	%	0.2	
Oxido de Calcio	CaO	%	55.21	
Oxido de Magnesio	MgO	%	0.52	
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%	0.05	
Oxido de Potasio	K ₂ O	%	0.05	
Anhidrido Sulfúrico	SO ₃	%	0.11	
Oxido de Titanio	TiO ₂	%	0.06	
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA				
Carbonato de calcio		%	98.55	
Carbonato de magnesio		%	1.1	
Carbonato Total		%	99.65	
COMPOSICIÓN CALORÍFICA				
	Recepción de muestra	Base seca		
Poder calorífico superior (Kcal/kg)	3 571	3 906		
Poder calorífico inferior (Kcal/kg)	3 277	3 639		
Observaciones:	Norma UNE-EN-14918:2011			
REALIZADO POR:	ANDRÉS AROSTEGUI TÉCNICO DE MATERIAS PRIMAS			
Fecha:	21/6/2022			
APROBADO POR:	DARWIN NUÑEZ JEFE DE CONTROL DE CALIDAD			
Fecha:	4/8/2022			
Nota: no está permitido la reproducción del reporte de análisis y ensayos sin la debida autorización				



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: 02 / 02 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTORA
Nombres – Apellidos: Nancy Valeria Jimpikit Wisum
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo
Código de resumen : 0217-DBRA-UPT-2023

