



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA  
EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: DANIEL FERNANDO QUEZADA FLORES**

**DIRECTORA: ING. MÓNICA LILIAN ANDRADE ÁVALOS**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Daniel Fernando Quezada Flores

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

Yo, Daniel Fernando Quezada Flores, 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 autor 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.

Riobamba, 26 de octubre de 2023

*Daniel Q. Flores*

**Daniel Fernando Quezada Flores**

**0250180783**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**, realizado por el señor: **DANIEL FERNANDO QUEZADA FLORES**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. María Augusta Guadalupe A. <b>PRESIDENTA DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2023-10-26
Ing. Mónica Lilian Andrade Ávalos <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-10-26
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-10-26

## **DEDICATORIA**

Me gustaría comenzar dedicando este trabajo de titulación a dos personas que hoy ya no se encuentran conmigo mi abuelo y abuela, Víctor y Flor, con quienes tuve la grata oportunidad de compartir mi vida y a quienes amo con toda mi alma mi papá y mamá, a mi madre y hermana, Nancy y Flor, quienes son mi más grande apoyo e inspiración, a toda mi familia materna por su completo apoyo y confianza en mí, a mis dos mejores amigos, Diego y Francisco, y su familia quienes siempre creyeron en mí.

Daniel

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi tutora, ingeniera Mónica Andrade, y asesor, ingeniero Marco Chuiza, de trabajo de integración curricular por haber confiado en mí para la realización de este trabajo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de ciencias, escuela de ingeniería química y todos los ingenieros que forman parte de la escuela quienes me han formado a lo largo de toda mi carrera y me han impartido sus conocimientos, al ingeniero Raúl Allán por su ayuda brindada para realizar este trabajo y al Municipio de la ciudad de Guaranda por haber brindado el aval necesario.

Daniel

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY / ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Justificación .....	3
1.3.	Objetivos .....	4
1.3.1.	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.	Lixiviado .....	5
2.1.1.	<i>Composición</i> .....	5
2.2.	Tratamientos de lixiviados .....	5
2.2.1.	<i>Tratamientos biológicos</i> .....	6
2.2.2.	<i>Tratamientos químicos</i> .....	6
2.2.3.	<i>Tratamientos físicos</i> .....	6
2.2.4.	<i>Tratamientos naturales</i> .....	6
2.3.	Energía solar .....	7
2.3.1.	<i>Radiación solar en Ecuador</i> .....	7
2.3.2.	<i>Constante solar</i> .....	8
2.4.	Destilación.....	8
2.4.1.	<i>Evaporación</i> .....	8
2.4.2.	<i>Condensación</i> .....	8

<b>2.5.</b>	<b>Destilación solar</b> .....	8
<b>2.5.1.</b>	<b>Captación de energía solar</b> .....	9
<b>2.5.2.</b>	<b>Componentes</b> .....	10
<b>2.5.2.1.</b>	<i>Colector solar</i> .....	10
<b>2.5.2.2.</b>	<i>Evaporador</i> .....	10
<b>2.5.2.3.</b>	<i>Cámara de aire</i> .....	10
<b>2.5.2.4.</b>	<i>Condensador o cubierta</i> .....	10
<b>2.5.3.</b>	<b>Tipos</b> .....	10
<b>2.5.3.1.</b>	<i>Destilador solar tipo caseta</i> .....	11
<b>2.5.3.2.</b>	<i>Destilador solar de dos vertientes</i> .....	11
<b>2.5.3.3.</b>	<i>Destilador solar de tipo invernadero</i> .....	11
<b>2.5.3.4.</b>	<i>Destilador solar tipo escalera</i> .....	11
<b>2.5.3.5.</b>	<i>Destilador solar tipo esfera</i> .....	11
<b>2.5.3.6.</b>	<i>Destilador solar multietapa</i> .....	12
<b>2.5.4.</b>	<b>Ventajas</b> .....	12
<b>2.5.5.</b>	<b>Factores que influyen en la destilación solar</b> .....	12
<b>2.5.5.1.</b>	<i>Temperatura ambiente</i> .....	12
<b>2.5.5.2.</b>	<i>Humedad relativa</i> .....	12
<b>2.5.5.3.</b>	<i>Velocidad del viento</i> .....	12
<b>2.5.5.4.</b>	<i>Heliofanía</i> .....	13
<b>2.6.</b>	<b>Lecho de secado</b> .....	13
<b>2.6.1.</b>	<b>Tipos de lechos de secado</b> .....	13
<b>2.6.1.1.</b>	<i>Eras de secado</i> .....	13
<b>2.6.1.2.</b>	<i>Lagunas de secado</i> .....	14
<b>2.7.</b>	<b>Variables de diseño de la planta</b> .....	14
<b>2.7.1.</b>	<b>Sistema de acumulación</b> .....	14
<b>2.7.1.1.</b>	<i>Generación de lixiviado por efecto de las condiciones meteorológicas del lugar</i> ....	14
<b>2.7.1.2.</b>	<i>Tanque de acumulación</i> .....	15
<b>2.7.1.3.</b>	<i>Tiempo de llenado del tanque de acumulación</i> .....	15
<b>2.7.2.</b>	<b>Destilador solar</b> .....	16
<b>2.7.2.1.</b>	<i>Bandeja recolectora</i> .....	16
<b>2.7.2.2.</b>	<i>Estructura de soporte</i> .....	17
<b>2.7.2.3.</b>	<i>Cubierta del destilador</i> .....	18
<b>2.7.2.4.</b>	<i>Radiación solar en el destilador</i> .....	19
<b>2.7.2.5.</b>	<i>Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa</i> .....	24
<b>2.7.2.6.</b>	<i>Transferencia de calor por conducción</i> .....	24

2.7.2.7.	<i>Transferencia de calor por radiación en el vidrio</i> .....	27
2.7.2.8.	<i>Calor perdido por convección del vidrio</i> .....	28
2.7.2.9.	<i>Calor perdido por radiación del agua</i> .....	28
2.7.2.10.	<i>Calor perdido por convección del agua</i> .....	28
2.7.2.11.	<i>Calor perdido por evaporación</i> .....	29
2.7.2.12.	<i>Balances de energía en el destilador solar</i> .....	29
2.7.2.13.	<i>Calor necesario para calentar y evaporar</i> .....	32
2.7.2.14.	<i>Energía total del destilador solar</i> .....	33
2.7.3.	<b><i>Lecho de secado</i></b> .....	34
2.7.4.	<b><i>Área laguna de secado</i></b> .....	34
2.7.5.	<b><i>Volumen laguna de secado</i></b> .....	34
2.8.	<b>Normativa legal</b> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	36
3.1.	<b>Descripción del botadero de basura de Curgua</b> .....	36
3.1.1.	<b><i>Localización del botadero de basura de Curgua</i></b> .....	36
3.1.2.	<b><i>Características del botadero de basura de Curgua</i></b> .....	36
3.2.	<b>Muestreo y caracterización del lixiviado</b> .....	37
3.2.1.1.	<b><i>Muestreo</i></b> .....	37
3.2.1.2.	<b><i>Caracterización del lixiviado</i></b> .....	37
3.3.	<b>Pruebas de tratabilidad del lixiviado</b> .....	38
3.4.	<b>Diseño de la planta de tratamiento propuesto</b> .....	39
3.5.	<b>Dimensionamiento de la planta</b> .....	40
3.5.1.	<b><i>Sistema de acumulación</i></b> .....	41
3.5.1.1.	<b><i>Generación de lixiviado por efecto de las condiciones meteorológicas del lugar</i></b> ....	41
3.5.1.2.	<b><i>Tanque de acumulación</i></b> .....	42
3.5.1.3.	<b><i>Tiempo de llenado del tanque de acumulación</i></b> .....	42
3.5.2.	<b><i>Destilador solar</i></b> .....	42
3.5.2.1.	<b><i>Bandeja recolectora</i></b> .....	43
3.5.2.2.	<b><i>Estructura de soporte</i></b> .....	43
3.5.2.3.	<b><i>Cubierta del destilador</i></b> .....	44
3.5.2.4.	<b><i>Radiación solar en el destilador</i></b> .....	44
3.5.2.5.	<b><i>Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa</i></b> .....	47
3.5.2.6.	<b><i>Transferencia de calor por conducción</i></b> .....	47

3.5.2.7.	<i>Transferencia de calor por radiación en el vidrio</i> .....	49
3.5.2.8.	<i>Calor perdido por convección del vidrio</i> .....	49
3.5.2.9.	<i>Calor perdido por radiación del agua</i> .....	49
3.5.2.10.	<i>Calor perdido por convección del agua</i> .....	50
3.5.2.11.	<i>Calor perdido por evaporación</i> .....	50
3.5.2.12.	<i>Balances de energía en el destilador solar</i> .....	50
3.5.2.13.	<i>Calor necesario para calentar y evaporar</i> .....	51
3.5.2.14.	<i>Energía total del destilador solar</i> .....	52
3.5.2.15.	<i>Tiempo total de destilación</i> .....	52
3.5.3.	<b><i>Laguna de secado</i></b> .....	53
3.6.	<b>Elaboración de planos de la planta de tratamiento</b> .....	53

#### CAPITULO IV

4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	54
4.1.	<b>Parámetros caracterizados</b> .....	54
4.1.1.	<i>Aceites y grasas</i> .....	62
4.1.2.	<i>Bario</i> .....	64
4.1.3.	<i>Boro</i> .....	66
4.1.4.	<i>Cianuro</i> .....	67
4.1.5.	<i>Color</i> .....	69
4.1.6.	<i>Cromo</i> .....	70
4.1.7.	<i>Demanda química de oxígeno</i> .....	72
4.1.8.	<i>Demanda biológica de oxígeno</i> .....	74
4.1.9.	<i>Eschericha Coli</i> .....	76
4.1.10.	<i>Fluoruros</i> .....	77
4.1.11.	<i>Fósforo total</i> .....	79
4.1.12.	<i>Hierro total</i> .....	80
4.1.13.	<i>Manganeso total</i> .....	82
4.1.14.	<i>Nitrógeno total kjedahl</i> .....	84
4.1.15.	<i>Oxígeno disuelto</i> .....	85
4.1.16.	<i>Sólidos totales disueltos</i> .....	87
4.1.17.	<i>Tensoactivos</i> .....	88
4.2.	<b>Dimensionamiento de la planta de tratamiento</b> .....	90
4.2.1.	<i>Tanque de acumulación</i> .....	90
4.2.2.	<i>Destilador solar</i> .....	90

4.2.2.1.	<i>Bandeja recolectora</i> .....	90
4.2.2.2.	<i>Estructura de soporte</i> .....	91
4.2.2.3.	<i>Cubierta del destilador</i> .....	91
4.2.2.4.	<i>Radiación solar mensual</i> .....	91
4.2.2.5.	<i>Balace de energía mensual</i> .....	93
4.2.2.6.	<i>Energía total del destilador mensual</i> .....	93
4.2.3.	<i>Laguna de secado</i> .....	94
4.2.4.	<i>Área Total de la planta</i> .....	94
4.3.	<b>Validación del diseño de la planta de tratamiento</b> .....	94

## CAPÍTULO V

5.	<b>CONLUCIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	95
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	95
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	96

## GLOSARIO

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Valores de n para cada mes .....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Heliofanía y temperatura de rocío .....	13
<b>Tabla 2-3:</b>	Parámetros de caracterización .....	35
<b>Tabla 3-1:</b>	Muestreos .....	37
<b>Tabla 3-2:</b>	Métodos de caracterización .....	37
<b>Tabla 3-3:</b>	Variables y constantes .....	40
<b>Tabla 3-4:</b>	Tiempo total de destilación.....	53
<b>Tabla 4-1:</b>	Resultados muestreo 1 .....	54
<b>Tabla 4-2:</b>	Resultados muestreo 2.....	55
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados muestreo 3.....	56
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados muestreo 4.....	57
<b>Tabla 4-5:</b>	Resultados muestreo 5.....	58
<b>Tabla 4-6:</b>	Resultados muestreo 6.....	59
<b>Tabla 4-7:</b>	Promedio de remoción.....	60
<b>Tabla 4-8:</b>	Promedio por muestreo.....	61
<b>Tabla 4-9:</b>	Aceites y grasas .....	63
<b>Tabla 4-10:</b>	Bario .....	64
<b>Tabla 4-11:</b>	Boro .....	66
<b>Tabla 4-12:</b>	Cianuro .....	67
<b>Tabla 4-13:</b>	Color.....	69
<b>Tabla 4-14:</b>	Cromo.....	70
<b>Tabla 4-15:</b>	DQO .....	72
<b>Tabla 4-16:</b>	DBO <sub>5</sub> .....	74
<b>Tabla 4-17:</b>	Escherichia coli.....	76
<b>Tabla 4-18:</b>	Fluoruros .....	78
<b>Tabla 4-19:</b>	Fósforo total .....	79
<b>Tabla 4-20:</b>	Hierro total .....	81
<b>Tabla 4-21:</b>	Manganeso total.....	82
<b>Tabla 4-22:</b>	Nitrógeno total kjedahl .....	84
<b>Tabla 4-23:</b>	Oxígeno disuelto.....	86
<b>Tabla 4-24:</b>	Sólidos totales disueltos .....	87
<b>Tabla 4-25:</b>	Tensoactivos .....	89
<b>Tabla 4-26:</b>	Dimensiones tanque de acumulación .....	90

<b>Tabla 4-27:</b>	Dimensiones destilador solar - bandeja recolectora .....	90
<b>Tabla 4-28:</b>	Dimensiones destilador solar - estructura de soporte .....	91
<b>Tabla 4-29:</b>	Dimensiones destilador solar - cubierta del destilador .....	91
<b>Tabla 4-30:</b>	Valores mensuales del ángulo horario y declinación solar.....	91
<b>Tabla 4-31:</b>	Valores mensuales de radiación solar.....	92
<b>Tabla 4-32:</b>	Valores mensuales de radiación solar sobre una superficie inclinada .....	92
<b>Tabla 4-33:</b>	Balance mensual de energía en el destilador .....	93
<b>Tabla 4-34:</b>	Energía mensual en el destilador .....	93
<b>Tabla 4-35:</b>	Dimensiones laguna de secado .....	94
<b>Tabla 4-36:</b>	Área total planta de tratamiento .....	94

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Destilador solar .....	9
<b>Ilustración 2-3:</b>	Diagrama del circuito interno del destilador .....	25
<b>Ilustración 2-4:</b>	Balance de energía en la cubierta del destilador .....	29
<b>Ilustración 2-5:</b>	Balance de energía en el agua .....	30
<b>Ilustración 2-6:</b>	Balance de energía de todo el destilador .....	31
<b>Ilustración 3-1:</b>	Ubicación del botadero de Curgua .....	36
<b>Ilustración 3-2:</b>	Diagrama de bloques de la planta de tratamiento .....	39
<b>Ilustración 4-1:</b>	Promedio remoción en cada muestreo .....	62
<b>Ilustración 4-2:</b>	Promedio de remoción en cada parámetro .....	62
<b>Ilustración 4-3:</b>	Resultados caracterización de aceites y grasas en lixiviado crudo y destilado .....	63
<b>Ilustración 4-4:</b>	Remoción de aceites y grasas .....	64
<b>Ilustración 4-5:</b>	Resultados caracterización de $Ba^{2+}$ en lixiviado crudo y destilado .....	65
<b>Ilustración 4-6:</b>	Remoción de $Ba^{2+}$ .....	65
<b>Ilustración 4-7:</b>	Resultados caracterización de B en lixiviado crudo y destilado .....	66
<b>Ilustración 4-8:</b>	Remoción de B .....	67
<b>Ilustración 4-9:</b>	Resultados caracterización de $CN^{-}$ en lixiviado crudo y destilado .....	68
<b>Ilustración 4-10:</b>	Remoción de $CN^{-}$ .....	68
<b>Ilustración 4-11:</b>	Resultados caracterización de color en lixiviado crudo y destilado .....	69
<b>Ilustración 4-12:</b>	Disminución del color .....	70
<b>Ilustración 4-13:</b>	Resultados caracterización de $Cr^{+6}$ en lixiviado crudo y destilado .....	71
<b>Ilustración 4-14:</b>	Remoción de $Cr^{+6}$ .....	71
<b>Ilustración 4-15:</b>	Resultados caracterización de DQO en lixiviado crudo y destilado .....	73
<b>Ilustración 4-16:</b>	Remoción de DQO .....	73
<b>Ilustración 4-17:</b>	Resultados caracterización de $DBO_5$ en lixiviado crudo y destilado .....	75
<b>Ilustración 4-18:</b>	Remoción de $DBO_5$ .....	75
<b>Ilustración 4-19:</b>	Resultados caracterización de eschericha coli en lixiviado crudo y destilado .....	77
<b>Ilustración 4-20:</b>	Remoción de eschericha coli .....	77
<b>Ilustración 4-21:</b>	Resultados caracterización de F en lixiviado crudo y destilado .....	78
<b>Ilustración 4-22:</b>	Remoción de F .....	79
<b>Ilustración 4-23:</b>	Resultados caracterización de $P-PO_4^{3-}$ en lixiviado crudo y destilado .....	80
<b>Ilustración 4-24:</b>	Remoción de $P-PO_4^{3-}$ .....	80
<b>Ilustración 4-25:</b>	Resultados caracterización de Fe en lixiviado crudo y destilado .....	81
<b>Ilustración 4-26:</b>	Remoción de Fe .....	82

<b>Ilustración 4-27:</b>	Resultados caracterización de Mn <sup>2+</sup> en lixiviado crudo y destilado.....	83
<b>Ilustración 4-28:</b>	Remoción de Mn <sup>2+</sup> .....	83
<b>Ilustración 4-29:</b>	Resultados caracterización de nitrógeno total kjedahl en lixiviado crudo y destilado .....	85
<b>Ilustración 4-30:</b>	Remoción nitrógeno total kjedahl.....	85
<b>Ilustración 4-31:</b>	Resultados caracterización de OD en lixiviado crudo y destilado.....	86
<b>Ilustración 4-32:</b>	Aumento del OD.....	87
<b>Ilustración 4-33:</b>	Resultados caracterización de SST en lixiviado crudo y destilado.....	88
<b>Ilustración 4-34:</b>	Remoción de SST .....	88
<b>Ilustración 4-35:</b>	Resultados caracterización de tensoactivos en lixiviado crudo y destilado	89
<b>Ilustración 4-36:</b>	Remoción de tensoactivos .....	90

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 2-1:</b>	Caudal de lixiviado .....	14
<b>Ecuación 2-2:</b>	Caudal por el método suizo de lixiviado .....	15
<b>Ecuación 2-3:</b>	Nivel de acumulación requerido .....	15
<b>Ecuación 2-4:</b>	Tiempo de llenado del tanque de acumulación.....	15
<b>Ecuación 2-5:</b>	Volumen .....	16
<b>Ecuación 2-6:</b>	Área .....	16
<b>Ecuación 2-7:</b>	Ancho.....	16
<b>Ecuación 2-8:</b>	Largo.....	17
<b>Ecuación 2-9:</b>	Altura .....	17
<b>Ecuación 2-10:</b>	Ancho.....	17
<b>Ecuación 2-11:</b>	Largo.....	17
<b>Ecuación 2-12:</b>	Base de la cubierta del destilador 1 .....	18
<b>Ecuación 2-13:</b>	Base de la cubierta del destilador 2 .....	18
<b>Ecuación 2-14:</b>	Ancho del vidrio de la cubierta.....	18
<b>Ecuación 2-15:</b>	Base de la cubierta .....	18
<b>Ecuación 2-16:</b>	Área de las caras laterales.....	19
<b>Ecuación 2-17:</b>	Área de las caras posterior y anterior.....	19
<b>Ecuación 2-18:</b>	Ángulo de declinación solar .....	19
<b>Ecuación 2-19:</b>	Angulo horario.....	19
<b>Ecuación 2-20:</b>	Número de horas de sol teóricas .....	20
<b>Ecuación 2-21:</b>	Radiación solar .....	20
<b>Ecuación 2-22:</b>	Constante 1 .....	20
<b>Ecuación 2-23:</b>	Constante 2 .....	21
<b>Ecuación 2-24:</b>	Radiación Solar.....	21
<b>Ecuación 2-25:</b>	Índice de claridad.....	21
<b>Ecuación 2-26:</b>	Radiación solar diaria difusa .....	22
<b>Ecuación 2-27:</b>	Radiación solar diaria directa .....	22
<b>Ecuación 2-28:</b>	Factor del cambio de ángulo.....	22
<b>Ecuación 2-29:</b>	Radiación solar directa .....	23
<b>Ecuación 2-30:</b>	Radiación solar difusa.....	23
<b>Ecuación 2-31:</b>	Radiación solar reflejada por el suelo.....	23
<b>Ecuación 2-32:</b>	Estimación de la radiación solar .....	23
<b>Ecuación 2-33:</b>	Energía solar .....	24

<b>Ecuación 2-34:</b>	Transferencia de calor.....	24
<b>Ecuación 2-35:</b>	Diagrama del circuito interno del destilador.....	25
<b>Ecuación 2-36:</b>	Coefficiente de transferencia de calor convectivo .....	26
<b>Ecuación 2-37:</b>	Resistencia térmica .....	26
<b>Ecuación 2-38:</b>	Coefficiente total de transferencia de calor 1.....	26
<b>Ecuación 2-39:</b>	Coefficiente total de transferencia de calor 2.....	26
<b>Ecuación 2-40:</b>	Coefficiente total de transferencia de calor 3.....	27
<b>Ecuación 2-41:</b>	Coefficiente de transferencia de calor por evaporación.....	27
<b>Ecuación 2-42:</b>	Transferencia de calor por radiación en el vidrio .....	27
<b>Ecuación 2-43:</b>	Temperatura del cielo .....	27
<b>Ecuación 2-44:</b>	Calor perdido por convección del vidrio .....	28
<b>Ecuación 2-45:</b>	Calor perdido por radiación del agua.....	28
<b>Ecuación 2-46:</b>	Calor perdido por convección del agua .....	28
<b>Ecuación 2-47:</b>	Calor perdido por evaporación .....	29
<b>Ecuación 2-48:</b>	Balance de energía parcial en la cubierta.....	29
<b>Ecuación 2-49:</b>	Balance energía parcial en el agua.....	30
<b>Ecuación 2-50:</b>	Balance de energía 1 .....	31
<b>Ecuación 2-51:</b>	Balance de energía 1 .....	31
<b>Ecuación 2-52:</b>	Balance de energía 3 .....	31
<b>Ecuación 2-53:</b>	Calor necesario para calentar y evaporar.....	32
<b>Ecuación 2-54:</b>	Cantidad de calor para calentar el vidrio 1 .....	32
<b>Ecuación 2-55:</b>	Cantidad de calor para calentar el vidrio 2 .....	32
<b>Ecuación 2-56:</b>	Cantidad de calor para calentar el vidrio 3 .....	32
<b>Ecuación 2-57:</b>	Cantidad de calor para calentar el agua 1 .....	33
<b>Ecuación 2-58:</b>	Cantidad de calor para calentar el agua 2 .....	33
<b>Ecuación 2-59:</b>	Cantidad de calor para calentar el agua 3 .....	33
<b>Ecuación 2-60:</b>	Energía total del destilador solar .....	33
<b>Ecuación 2-61:</b>	Lecho de secado.....	34
<b>Ecuación 2-62:</b>	Volumen laguna de secado .....	34

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ANÁLISIS LIXIVIADO CRUDO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO B:** ANÁLISIS LIXIVIADO DESTILADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO C:** ANÁLISIS DE LOS LODOS SOBRANTES DE LA DESTILACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO D:** VALIDACIÓN DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO E:** SISTEMA DE RECOLECCIÓN ACTUAL DE LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO F:** MUESTREO DE LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA
- ANEXO G:** PRUEBAS DE TRATAMIENTO A ESCALA DE LABORATORIO
- ANEXO H:** DISEÑO
- ANEXO I:** DISEÑO TANQUE DE ACUMULACIÓN
- ANEXO J:** DISEÑO DESTILADOR SOLAR
- ANEXO K:** DISEÑO LECHO DE SECADO

## RESUMEN

La alta generación de basura en los vertederos de residuos sólidos provoca un colapso en los mismos. Esta acumulación de residuos da lugar a lixiviados, fluidos altamente contaminantes, que se filtran al entorno y causan la contaminación de ríos y fuentes de agua subterránea, por lo cual se ha planteado como objetivo diseñar una planta de tratamiento de lixiviados con un destilador solar para el botadero de basura de Curgua, para disminuir el nivel de contaminación y cumplir con lo que estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) libro VI, Anexo 1, tabla 9. Se siguieron métodos estándar para la examinación del lixiviado y se obtuvo la caracterización física, química y microbiológica. Identificando parámetros fuera del límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce: aceites y grasas 40,72 mg/l, cianuro ( $\text{CN}^-$ ) 0,28 mg/l, color 150 Pt-Co, cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ) 0,51 mg/l, demanda química de oxígeno (DQO) 3772,36 mg/l, demanda biológica de oxígeno (DBO5) 1790,26 mg/l, eschericha coli 4383,33 col/100ml, sólidos totales disueltos (SST) 268,69 mg/l, tensoactivos 3,76 mg/l. Los resultados determinan: aceites y grasas 2,80 mg/l,  $\text{CN}^-$  0,0057 mg/l, color 5 Pt-Co,  $\text{Cr}^{+6}$  0,0057 mg/l, DQO 25,81 mg/l, DBO5 12,97 mg/l, eschericha coli 0 col/100ml, SST 59,71 mg/l y tensoactivos 0,25 mg/l; con un porcentaje de remoción promedio del 95,14 %; además de un aumento del oxígeno disuelto de 95,14% mejorando en la calidad del agua tratada. Se concluyó que después de la caracterización final los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles y cumplen con lo que estipula el TULSMA, pero se recomienda utilizar materiales de buena calidad para la construcción del destilador solar, para aumentar la vida útil del equipo y de la planta.

**Palabras clave:** <BOTADERO DE BASURA>, <CARACTERIZACIÓN>, <CONTAMINACIÓN>, <DESTILADOR SOLAR>, <LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE>, <LIXIVIADO>, <RADIACIÓN SOLAR>, <TULSMA>.

2170-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The high generation of waste in solid waste landfills causes a collapse of the landfills. This accumulation of waste gives rise to leachates, highly polluting fluids, which seep into the environment and cause contamination of rivers and groundwater sources. Therefore, the objective was to design a leachate treatment plant with a solar distiller for the Curgua landfill, to reduce the level of contamination and comply with the stipulations of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA) book VI, Annex 1, table 9. Standard methods were used to examine the leachate and the physical, chemical and microbiological characterization was obtained. Parameters outside the maximum permissible limit for discharges into freshwater bodies were identified: oils and fats 40.72 mg/l, cyanide (CN<sup>-</sup>) 0.28 mg/l, color 150 Pt-Co, chromium (Cr <sup>+6</sup>) 0.51 mg/l, chemical oxygen demand (COD) 3772.36 mg/l, biological oxygen demand (BOD5) 1790.26 mg/l, escherichia coli 4383.33 col/100ml, total dissolved solids (TDS) 268.69 mg/l, surfactants 3.76 mg/l. The results determine: oils and fats 2.80 mg/l, CN<sup>-</sup> 0.0057 mg/l, color 5 Pt-Co, Cr <sup>+6</sup> 0.0057 mg/l, COD 25.81 mg/l, BOD5 12.97 mg/l, escherichia coli 0 col/100ml, TSS 59.71 mg/l and surfactants 0.25 mg/l; with an average removal percentage of 95.14 %; besides an increase in dissolved oxygen of 95.14% improving in the quality of treated water. It was concluded that after the final characterization the parameters are within the permissible limits and comply with what is stipulated by the TULSMA, but it is recommended to use good quality materials for the construction of the solar distiller, to increase the useful life of the equipment and the plant.

**Keywords:** <WASTE LANDFILL>, <CONTAMINATION>, <CONTAMINATION>, <SOLAR DISTILLER>, <MAXIMUM PERMISSIBLE LIMIT>, <LEACHING>, <SOLAR RADIATION>, <TULSMA>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador en la actualidad la alta generación de residuos provoca un índice de contaminación lo que está generando un alto impacto ambiental, uno de estos contaminantes generados por estos residuos son los lixiviados, es por esto por lo que en la actualidad en Ecuador la ciudad de Quito que cuenta con tres plantas de tratamiento para lixiviados y otras que están en proceso de tener una.

En la ciudad de Quito existen tres plantas de tratamiento para lixiviados, las cuales son:

- Planta de Tratamiento de Lixiviados MBR
- Planta de Tratamiento de Lixiviados VSEP
- Planta de Tratamiento de Lixiviados PTL

La ciudad de Guaranda cuenta con el diseño de una planta de tratamiento de lixiviados, empleando operaciones unitarias, dentro de las cuales se encuentran: desarenador, reactor UASB, un filtro biológico percolador, floculadores, sedimentadores y un tanque de desinfección usando agentes coaguladores. Para mencionado diseño primero realizaron la caracterización del lixiviado durante un periodo de 4 semanas empleando el manual de Métodos HACH, encontrando parámetros fuera de los límites permisibles como: DBO5, DQO, turbiedad, color, conductividad, nitrógeno total, fluoruros, cloruros, cianuros, bario y oxígeno disuelto (Tibanlombo Chisag, 2014).

Una vez que se realizó el tratamiento, empleando el test de Jarras empleando un floculador y coagulador, se volvió a realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico del lixiviado se pudo evidenciar que con la remoción de contaminantes que tuvo el lixiviado luego del tratamiento este cumple con los parámetros, mismo que se encuentran dentro los límites permisibles establecidos en el TULSMA (Tibanlombo Chisag, 2014).

Otro de los diseños con los que la ciudad de Guaranda cuenta es una planta de tratamiento biológico complementario para lixiviados. Dicho diseño se lo realizó en tres fases:

Primera: aforo y caracterización de lixiviados en los meses de noviembre, diciembre del 2016 y enero del 2017

Segunda: simulación del tratamiento a escala de laboratorio

Tercera: dimensionar el reactor biológico SBR

El diseño consta también de operaciones unitarias para complementar el tratamiento como: desarenador, sedimentador, filtros y un tanque de desinfección. Este tratamiento permitirá reducir los parámetros que se encontraron fuera de los límites permisibles en un 95% aproximadamente, concluyendo en que el diseño sirve para tratar el lixiviado generado en el lugar de estudio. (Andrade Borja, 2017)

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

En los vertederos de residuos sólidos la alta generación de basura ha provocado un colapso de este, en estos vertederos se forma una mezcla de residuos como: materia orgánica que se encuentra en estado de descomposición, restos de detergentes, restos de líquidos y algunos metales oxidados, entre otros tipos de desechos. La mezcla de todos estos desechos genera la formación de un fluido conocido como lixiviado, mismo que se encuentra circulando a través de los residuos existentes en el vertedero. Estos lixiviados traen graves consecuencias porque causan la contaminación de ríos y fuentes de agua subterránea.

Los lixiviados se generan por una lixiviación que tiene lugar por procesos de fermentación y descomposición de la materia orgánica, como consecuencia de la filtración de agua de lluvia que se percola entre los residuos y arrastra compuestos químicos y materiales biológicos, estos lixiviados son muy contaminantes y son un peligro para el medio ambiente y la salud de los seres vivos.

En la ciudad de Guaranda los lixiviados generados en el botadero de CURGUA no se les da ningún tipo de tratamiento, estos son descargados al río de la ciudad lo que ha ocasionado un grave impacto ambiental en este sector generado por la contaminación que estos provocan.

#### **1.2 Justificación**

En la ciudad de Guaranda, el botadero de basura de Curgua se encuentra colapsado, es por esto por lo que el Municipio de la ciudad de Guaranda al contar con un diseño de una planta de tratamiento para estos lixiviados generados en este botadero tendrá un impacto positivo para el medio ambiente y para los habitantes cercanos a este sector.

El diseño de una planta de tratamiento de lixiviados con un destilador solar para el botadero de basura de CURGUA, será de gran ayuda para el medio ambiente ya que el diseño propuesto es amigable con el mismo porque funciona con energía solar y será de gran ayuda para reducir la contaminación que ha estado ocurriendo en el río de la ciudad en este sector.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Diseñar una planta de tratamiento de lixiviados con un destilador solar para el botadero de basura de Curgua.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar fisicoquímicamente los lixiviados generados en el botadero de Curgua.
- Determinar las variables del proceso para el diseño de la planta de tratamiento.
- Aplicar cálculos de ingeniería para realizar el dimensionamiento de la planta.
- Validar el diseño mediante la caracterización final física, química y microbiológica del lixiviado en base al Tulsma libro vi, anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Lixiviado

Es todo líquido que está en contacto con desechos, que pueden ser de un relleno sanitario o botadero de basura, estos se producen por una disolución que ocurre al momento de que uno o más compuestos de estos desechos entran en contacto con el agua, o ya sea por la propia dinámica de descomposición que estos poseen (Álvarez Contreras, y otros, 2006).

La humedad aumenta en la basura que se encuentra en estos botaderos o rellenos sanitarios, se extrae contaminantes en fase líquida mismos que dan lugar a un alto contenido de humedad la cual ocasiona el movimiento del líquido, debido a esto el lixiviado es considerado un líquido con un alto grado de contaminación, esto depende también de los procesos de degradación que existan, condiciones climáticas e hidrológicas (Bastos Daza, 2021).

El lixiviado es un líquido de color oscuro de olor desagradable, que contienen altas cantidades de materia orgánica como humus, compuestos aromáticos; contiene también material inorgánico como sales inorgánicas, iones metálicos (Bastos Daza, 2021).

##### 2.1.1 Composición

- Materia orgánica: demanda química de oxígeno, carbono orgánico total, ácidos grasos volátiles, ácidos húmicos y fúlvicos.
- Macrocomponentes inorgánicos: calcio, magnesio, sodio, potasio,  $NH_4^+$ , hierro, manganeso, cloro, sulfato, bicarbonato.
- Metales pesados: cadmio, cromo, cobre, plomo, nitrógeno, zinc.
- Compuestos xenobióticos: hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos, pesticidas, plastificantes (Torres Lozada, y otros, 2014)
- Otros compuestos: boratos, sulfuros, arsenato, selenato, bario, litio, mercurio, cobalto.

#### 2.2 Tratamientos de lixiviados

El alto índice de contaminación que los lixiviados producen en aguas superficiales y subterráneas, se han realizado varias investigaciones en las que se busca dar un tratamiento a estos, pero la

compleja y heterogénea composición que poseen y el volumen variable que se genera no nos permite tener un único tratamiento que una vez finalizado garantice que este cumpla con la normativa correspondiente. Actualmente tenemos cuatro tipos de tratamientos que se pueden aplicar a los lixiviados (Astorga del Canto, 2018)

### **2.2.1 *Tratamientos biológicos***

El principal objetivo de estos tratamientos es la de fructificar a ciertos microorganismos que tienen la capacidad natural de asemejar materia orgánica/nutrientes y lograr eliminar componentes contaminantes que están presentes, entre los más conocidos tenemos a los reactores USAB y SBR. Este tratamiento puede ser aerobio y anaerobio (Leon Chimbolema, y otros, 2021).

### **2.2.2 *Tratamientos químicos***

Estos tratamientos consisten en alterar la composición química del líquido para perturbar a las sustancias nocivas contenidas logrando una desinfección, entre el más usado de estos tratamientos se encuentra la floculación-coagulación y desinfección (Leon Chimbolema, y otros, 2021).

### **2.2.3 *Tratamientos físicos***

Se eliminan los contaminantes presentes sin causar ningún cambio en la composición que tiene el lixiviado, para estos tratamientos se emplean sistemas a gravedad, diferencia entre densidades. Los más empleados en estos son las rejillas, sedimentadores, desarenadores y filtros (Leon Chimbolema, y otros, 2021).

### **2.2.4 *Tratamientos naturales***

Empleando lagunas y humedales artificiales se pueden realizar procesos físicos, químicos y biológicos de manera natural, estos nos ofrecen diferentes niveles de tratamiento a su vez que tiene ciertas desventajas por el área que requiere ser empleada en estos tratamientos (Astorga del Canto, 2018).

En la actualidad en el complicado proceso de tratar estos lixiviados, se pueden emplear uno o más tipos de tratamientos para lograr obtener como resultado un lixiviado tratado que se encuentre dentro de la normativa correspondiente. Es así como en una planta de tratamiento de lixiviados podemos tener el proceso dividido en primario, secundario y terciario.

## 2.3 Energía solar

La energía solar es una de las fuentes de energía más abundante que existe, está disponible en cualquier lugar del mundo y esta puede ser almacenada para su posterior transformación en energía térmica o eléctrica en el lugar mismo donde se almaceno. Este tipo de energía viene de una fuente renovable la cual no es contaminante y es ilimitada a nivel humano, la mejor manera de aprovechar está es mediante la conversión de la radiación electromagnética del sol en calor o convirtiéndola en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico (Laborde, y otros, 2016).

En el campo de la energía solar se le conoce como destilación solar a una alternativa para la tecnología sanitaria y energética, esta alternativa se ha implementado de manera industrial desde hace ya más de un siglo.

### 2.3.1 Radiación solar en Ecuador

En el Ecuador esta medición no se realiza en valores de fácil comparación más bien se usa la conversión de la heliofanía en valores de radiación, esta conversión se realiza a partir de modelos que pueden ser empíricos o teóricos los cuales incorporan en sus coeficientes registros de temperatura, ubicación geográfica, velocidad del viento y otras variables (Sabando Álvarez, 2017).

**Tabla 2-1:** Valores de n para cada mes

Mes	n para el enésimo día del mes	Para el día promedio del mes	
		Fecha	n
Enero	$i$	17	17
Febrero	$31 + i$	16	47
Marzo	$59 + i$	16	75
Abril	$90 + i$	15	105
Mayo	$120 + i$	15	135
Junio	$151 + i$	11	162
Julio	$181 + i$	17	198
Agosto	$212 + i$	16	228
Septiembre	$243 + i$	15	258
Octubre	$273 + i$	15	288
Noviembre	$304 + i$	14	318
Diciembre	$334 + i$	10	344

Fuente: (Duffie, y otros, 2013)

Realizado por: Quezada D., 2023..

### **2.3.2 Constante solar**

Esta constante está determinada por la radiación solar recibida por una superficie de 1 m<sup>2</sup> que se encuentra en el límite exterior de la atmosfera terrestre y en un plano que esta perpendicular a los rayos del sol, esta constante medida en el plano perpendicular a la radiación solar trasgrede en cada parte del globo con un ángulo diferente (Garcia-Badell, 1983).

## **2.4 Destilación**

Es una operación que es utilizada para separar por medio de un proceso en el que se realiza primero una evaporación para posterior dar lugar a una condensación de los componentes del líquido, sólidos disueltos, gases licuados que estén presentes en una mezcla, este proceso se lleva a cabo aprovechando los diferentes puntos de ebullición que poseen cada una de las sustancias presentes (Lopez Cifuentes de Gálvez, 2016).

### **2.4.1 Evaporación**

Esta operación unitaria es una de las más usadas en la industria química, consiste en adicionar calor a una solución para dar lugar a la evaporación del disolvente, por lo general agua, la mayoría de los evaporadores utilizan vapor de agua como suministro de calor; durante este proceso la concentración, densidad y viscosidad de la solución aumenta hasta obtener una solución saturada (Ayala Padilla, y otros, 2020).

### **2.4.2 Condensación**

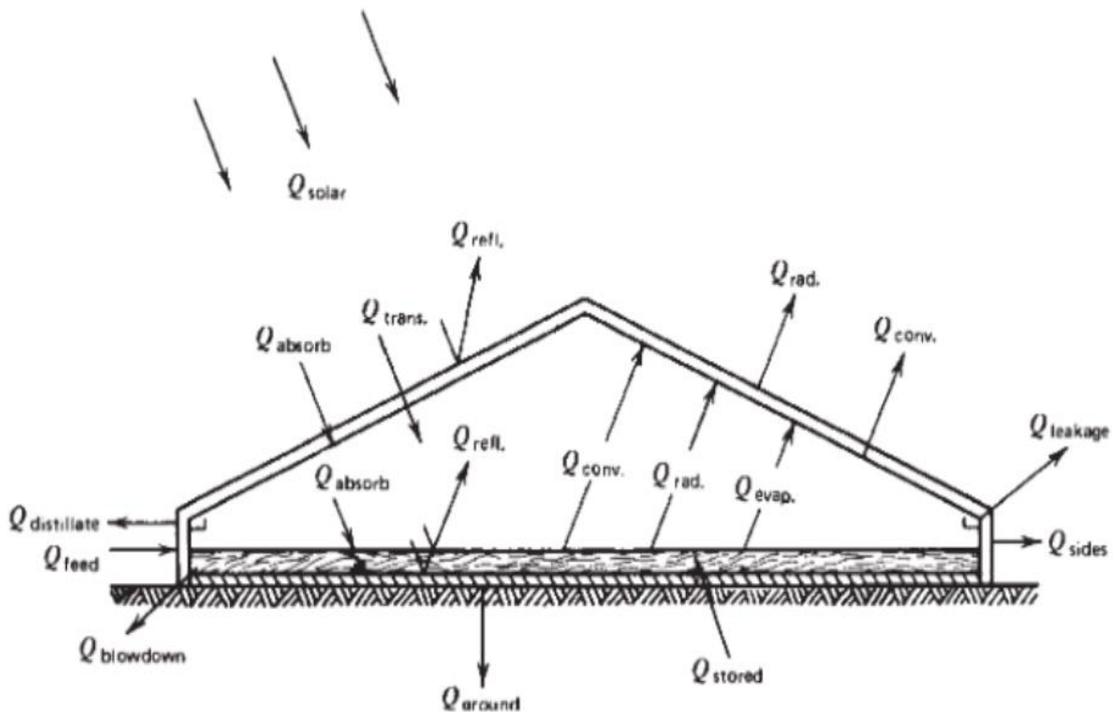
Es el proceso por el cual una sustancia realiza el cambio de fase gaseosa a fase líquida, en este proceso se enfría el vapor a una presión constante y en consecuencia las moléculas se mueven lentamente y la energía cinética de estas disminuye motivo por el cual disminuye el volumen y se genera atracción entre las moléculas (Díaz Gutiérrez, 2021).

## **2.5 Destilación solar**

Esta operación sirve para purificar una solución, mediante la separación de agua por medio de la evaporación y posterior condensación, proceso en el cual se reemplaza la energía tradicional por energía solar; cuando el soluto no es volátil el proceso se realiza evaporando el solvente en una parte de la bandeja y condensando dicho vapor en otra región de esta (Felix Lazo, 2020).

Cuando la destilación solar se produce a temperaturas que son relativamente bajas, entre 47 a 65 °C, este proceso es muy eficiente, natural y es de accesibilidad fácil para cualquier tipo de sociedades, si aplican este proceso en forma masiva se lograría evitar un gran número de enfermedades que son producto del consume de agua que se encuentra conservada en un estado deplorable en países pobres; la energía solar se puede usar concentrándola llegando alcanzar altas temperaturas o ya sea con temperaturas bajas (Felix Lazo, 2020).

Este proceso fue desarrollado en un inicio con la finalidad de obtener agua potable a partir de agua del mar en regiones áridas que se encuentran en las costas, pero este proceso en la actualidad puede ser empleado como suministro de agua potable en zonas rurales pequeñas, como una familia, y sirve también para la remoción de microorganismos que hacen que el agua no sea apta para el consumo (Hermosillo-Villalobos, 1989)



**Ilustración 2-1:** Destilador solar

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 2.5.1 Captación de energía solar

Por lo general los destiladores solares que son simples están compuestos por una bandeja, de color negro, la cual contiene el agua que se va a destilar, esta es la que absorbe la radiación del sol lo que con lleva a un ligero calentamiento el cual será transmitido al agua, durante este proceso la temperatura va en aumento al momento en el que el sol sube sobre el horizonte hasta alcanzar su

máximo de temperatura un poco antes del mediodía y luego se enfría al comenzar a declinarse el sol (Hermosillo-Villalobos, 1989).

## **2.5.2 Componentes**

### **2.5.2.1 Colector solar**

El colector solar es la bandeja que se encuentra en el interior del destilador solar, este colector es llenado con el agua contaminada que se va a destilar. Este colector debe tener todas las condiciones físicas para lograr una mejor captación de la radiación solar y estará cubierto por aislante térmico para que soporte las condiciones del clima (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

### **2.5.2.2 Evaporador**

En este proceso influye directamente la energía solar y es cuando se inicia la evaporación a cualquier temperatura y mientras mayor sea la cantidad de radiación a la que este expuesto la evaporación se dará más rápido (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

### **2.5.2.3 Cámara de aire**

Se encuentra ubicada entre la cubierta y el evaporador, su función principal es la de trasladar agua al aire y por un cambio de temperatura convertirlo en aire saturado, este aire es el que transporta las moléculas de agua. (Sanchez Asiclo, y otros, 2020)

### **2.5.2.4 Condensador o cubierta**

Esta es la parte externa del destilador y es transparente, vidrio, para lograr captar mejor los rayos del sol, esta es la zona que tiene mejor temperatura en el destilador y es aquí donde se producen las gotas de agua debido a la diferencia de temperatura que existe con el evaporador (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

## **2.5.3 Tipos**

Se clasifican en dos grupos la destilación solar pasiva y la activa, la pasiva es donde se agrupan los diferentes tipos de destiladores solares más construidos y estudiados (Cupita Coaquira, 2022).

#### *2.5.3.1 Destilador solar tipo caseta*

Este destilador es de forma rectangular, cónica y las paredes cuentan una pendiente adecuada para que las gotas de agua se deslicen además de contar con una profundidad suficiente como para poder usarlo en casa (Escandón Crespo, y otros, 2021).

#### *2.5.3.2 Destilador solar de dos vertientes*

Se encuentra conformado de dos vertientes como su nombre indica con una cubierta transparente y una bandeja de color negro es la que se almacena el agua que va a ser destilada. Este es un sistema que deber encontrarse cerrado de manera hermética para evitar las fugas de calor que pueden existir (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

#### *2.5.3.3 Destilador solar de tipo invernadero*

Constan de una bandeja oscura expuesta a la radiación del sol que tiene poca profundidad, en la cual se coloca el agua que se va a destilar. En esta bandeja se calienta el agua y ocurre la evaporación depositándose en el fondo de la bandeja los componentes que no fueron evaporados, este vapor se condensa en la cubierta de del destilador para luego ser recolectada en las canaletas las cuales llevaran el agua destilada al exterior para su recolección (Fonseca Fonseca, y otros, 2005)

#### *2.5.3.4 Destilador solar tipo escalera*

Este sistema se encuentra formado por un colector- evaporador que están unidos a paneles verticales los cuales al unirse forman una escalera, la principal desventaja de este tipo de destilador es que el producto de la destilación es más propenso a contaminarse por la forma que tiene el destilador (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

#### *2.5.3.5 Destilador solar tipo esfera*

Tienen la forma de una esfera lo que ayuda a que no se genere mucha sombra, estas esferas están hechas ya sea de vidrio o plástico y la eficiencia que tienen este tipo de destiladores va desde el 50 al 100% produciendo entre 5 a 7 L/m<sup>2</sup> al día. (Sanchez Asiclo, y otros, 2020).

#### *2.5.3.6 Destilador solar multietapa*

Este destilador está compuesto por una serie de bandejas, que se encuentran en un cierto ángulo de inclinación, cada bandeja es una etapa, estas están cubiertas por tela de algodón por donde el agua comienza a circular en forma de film (Franco, y otros, 1992)

#### *2.5.4 Ventajas*

El proceso de destilación solar es amigable, seguro con el medio ambiente y nos brinda agua de calidad luego de finalizado el proceso; dicho proceso no requiere de gastos continuos de dinero y para un rendimiento correcto del mismo no necesita la implementación de filtros, membranas, ni de ningún aditivo químico, tampoco requiere de fuentes de energía externas, mantenimiento u algún tipo de operación especializada. El tiempo de vida útil de un destilador solar por lo general es mayor a los 20 años, dependiendo de los materiales que se empleen en su construcción (Cupita Coaquira, 2022).

#### *2.5.5 Factores que influyen en la destilación solar*

##### *2.5.5.1 Temperatura ambiente*

Es la temperatura en la que se encuentra la naturaleza y es muy variable dependiendo de la presencia o ausencia de lluvia, la cantidad de humedad, de cómo cambie el viento y más (Sabando Álvarez, 2017).

##### *2.5.5.2 Humedad relativa*

Esta humedad influye solo la cantidad de agua que se destile, es inversamente proporcional debido a que si existe más humedad en el ambiente la cantidad de agua destilada es menor, esta depende directamente de la temperatura ambiente (Sabando Álvarez, 2017).

##### *2.5.5.3 Velocidad del viento*

Esta influye de manera directa sobre la cantidad de agua destilada a producir ya que si la velocidad es mayor el vidrio de la cubierta se enfriará más rápido y esto acelera la transferencia de agua a las canaletas para su recolección (Sabando Álvarez, 2017).

#### 2.5.5.4 Heliofanía

Es el tiempo que el brillo solar dura y se mide en horas de brillo solar, su medida se obtiene por medio de un heliofanógrafo. En el Ecuador teóricamente existen 12 horas de brillo solar que son de 06:00 am hasta las 18:00 pm.

**Tabla 2-2:** Heliofanía y temperatura de rocío

Mes	Heliofanía (mensual) (h)	Heliofanía (Diaria) (h)	T del punto de rocío (k)
Enero	148,1	4,78	280,75
Febrero	91,7	3,28	280,45
Marzo	95,9	3,09	280,45
Abril	150,9	5,03	280,25
Mayo	95,6	3,08	281,15
Junio	227,6	7,59	279,85
Julio	218,3	7,04	280,25
Agosto	203,8	6,57	279,85
Septiembre	112,7	3,76	279,75
Octubre	132,2	4,26	280,05
Noviembre	190,5	6,35	279,85
Diciembre	139,9	4,51	279,95
<b>Promedio</b>	150,6	4,95	280,22

Fuente: INAMHI, 2017.

Realizado por: Quezada D., 2023.

## 2.6 Lecho de secado

Es un sistema simple y de bajo costo con el cual se deshidratan lodos que resultan del tratamiento de agua residuales, en estos sistemas se elimina el agua que está presente en estos lodos por medio de la evaporación, para obtener un residuo sólido. (Alvarado Valdivieso, 2016)

### 2.6.1 Tipos de lechos de secado

#### 2.6.1.1 Eras de secado

Son estructuras rectangulares usadas para realizar el desaguado y deshidratar los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, estas estructuras están conformadas por un filtro formado por grava, arena y piedras (Pérez Jinez, y otros, 2016).

### 2.6.1.2 *Lagunas de secado*

Son cunetas o huecos de tierra grandes en los cuales se deposita el lodo residual por toda la superficie del terreno para realizar la deshidratación del agua que contienen estos lodos para concentrar los sólidos y retirarlos, el agua que se encuentra sobrenadando es decantada por medio de vertederos (Pérez Jinez, y otros, 2016).

## 2.7 Variables de diseño de la planta

El proceso que tiene el diseño de la planta de tratamiento es un proceso discontinuo por bloques que depende del renovado sistema de acumulación de lixiviado con el que consta el botadero de basura.

En el proceso que se lleva a cabo en la planta consta de dos etapas, de las cuales la primera es el sistema de acumulación de lixiviado, el cual mediante una válvula está conectado al destilador solar, segunda etapa conectada a una válvula que sirve para que una vez concluida la destilación solar se abra el paso de descarga del lixiviado tratado al río de la ciudad. Adicional al proceso se contará con un lecho de secado para los lodos resultantes de la destilación del lixiviado.

### 2.7.1 *Sistema de acumulación*

Este depende de las dimensiones de la tubería que transportara el lixiviado generado y del volumen que se genera en el botadero, deberemos tomar en cuenta que este volumen a transportar sufrirá variaciones con relación a la cantidad de lixiviado que se genere en el botadero de basura.

#### 2.7.1.1 *Generación de lixiviado por efecto de las condiciones meteorológicas del lugar*

Para el cálculo del caudal de lixiviado generado en el botadero de Curgua se empleó el método suizo en donde:

$$Q_{ms} = \frac{1 * P * A * K}{t}$$

**Ecuación 2-1:** Caudal de lixiviado

Donde:

$Q_{ms}$ : caudal por el método suizo de lixiviado

P: Precipitación media anual

A: Área del botadero de basura

K: Grado de compactación comprendido entre 0,15 y 0,25

t: Segundo en un año

$$Q_T = \frac{LL + Q_{ms}}{2}$$

**Ecuación 2-2:** Caudal por el método suizo de lixiviado

Donde:

LL: Caudal por balance hídrico de infiltración del botadero

$Q_{ms}$ : caudal por el método suizo de lixiviado

#### 2.7.1.2 *Tanque de acumulación*

El volumen de este depende de las dimensiones del tanque de acumulación, mismo que dependerá del caudal máximo de lixiviado que se llegue a obtener, en base a este caudal se determinará el tiempo que tomará alcanzar el nivel de acumulación requerido para comenzar con el proceso de tratamiento.

$$V_a = Ab_{Ta} * h_{Ta}$$

**Ecuación 2-3:** Nivel de acumulación requerido

Donde:

$Ab_{Ta}$ : Área de la base del tanque de acumulación

$h_{Ta}$ : Altura del tanque de acumulación

#### 2.7.1.3 *Tiempo de llenado del tanque de acumulación*

$$t_{ll} = \frac{V_a}{Q_T}$$

**Ecuación 2-4:** : Tiempo de llenado del tanque de acumulación

Donde:

$t_{ll}$ : Tiempo de llenado del tanque de acumulación

$V_a$ : Volumen de acumulación

$Q_T$ : Caudal de lixiviado generado

### 2.7.2 Destilador solar

Para la construcción del destilador solar, se deberán tener en cuenta las siguientes variables de operación del destilador, el volumen de lixiviado que se va a destilar es el mismo que el del tanque de acumulación.

#### 2.7.2.1 Bandeja recolectora

- Volumen

El volumen de la bandeja recolectora será el mismo que el volumen del tanque de acumulación del que proviene el lixiviado.

$$V_{Br} = h_{Br} * A_{Br}$$

**Ecuación 2-5: Volumen**

Donde:

$h_{Br}$ : Altura de la bandeja

$A_{Br}$ : Área de la bandeja

- Área

$$A_{Br} = \frac{V_{Br}}{h_{Br}}$$

**Ecuación 2-6: Área**

Donde:

$V_{Br}$ : Volumen de la bandeja recolectora

$h_{Br}$ : Altura de la bandeja

Para el ancho y largo, el diseño del destilador solar es de forma rectangular y tendremos en cuenta la relación 3:1.

- Ancho

$$a = \sqrt{\frac{A_{Br}}{3}}$$

**Ecuación 2-7: Ancho**

Donde:

$A_{Br}$ : Área de la bandeja colectora

- Largo

$$l = 3 * a$$

**Ecuación 2-8:** Largo

Donde:

$a$ : ancho de la bandeja colectora

### 2.7.2.2 Estructura de soporte

Para la estructura de soporte se toma en cuenta tanto el espesor del aislante térmico y la altura que tendrá la bandeja colectora.

- Altura

$$h = h_{Br} + x2$$

**Ecuación 2-9:** Altura

Donde:

$h_{Br}$ : Altura de la bandeja colectora

$x2$ : Espesor del aislante (lana de vidrio)

- Ancho

$$a_{ES} = a + (c * 2)$$

**Ecuación 2-10:** Ancho

Donde:

$a$ : Ancho de la bandeja colectora

$c$ : Ancho del canal de recolección

- Largo

$$l_{ES} = l + c$$

**Ecuación 2-11:** Largo

Donde:

$l$ : Largo de la bandeja colectora

$c$ : Ancho del canal de recolección

### 2.7.2.3 Cubierta del destilador

La cubierta del destilador debe sellar de manera hermética al destilador solar, debido a esto tanto el largo como el ancho de la cubierta serán los mismos que de la estructura de soporte del destilar.

- Altura

La altura de la cubierta esta determina tanto por el ángulo de inclinación del vidrio de la cubierta y el ancho de esta. El ángulo de inclinación del vidrio de la cubierta para el destilador es de 30°.

$$b_{CD} = \frac{a_{ES}}{2}$$

**Ecuación 2-12:** Base de la cubierta del destilador 1

$$h_{CD} = \tan 30^\circ * b_{CD}$$

**Ecuación 2-13:** Base de la cubierta del destilador 2

$$a_g = \sqrt{b_{CD}^2 - h_{CD}^2}$$

**Ecuación 2-14:** Ancho del vidrio de la cubierta

Donde:

$a_{ES}$ : Ancho de la estructura de soporte

$b_{CD}$ : Base de la cubierta del destilador

$a_g$ : Ancho del vidrio de la cubierta

- Área

El área de la cubierta del destilador está determinada por las cuatro caras de vidrio que componen la cubierta, dos rectángulos a los lados en las cuales se da la que mayor captación de radiación solar y dos triángulos en la cara posterior y anterior de la cubierta.

$$A_{CD} = A_{g1} + A_{g2}$$

**Ecuación 2-15:** Base de la cubierta

$$A_{g1} = (l_{ES} * a_g) * 2$$

**Ecuación 2-16:** Área de las caras laterales

$$A_{g2} = \left( \frac{a_{ES} * h_{CD}}{2} \right) * 2$$

**Ecuación 2-17:** Área de las caras posterior y anterior

Donde:

$A_{g2}$ : Área de las caras laterales de la cubierta

$A_{g2}$ : Área de las caras posterior y anterior de la cubierta

$l_{ES}$ : Largo de la estructura de soporte

$a_{ES}$ : Ancho de la estructura de soporte

$h_{CD}$ : Base de la cubierta del destilador

$a_g$ : Ancho del vidrio

#### 2.7.2.4 Radiación solar en el destilador

- Angulo de declinación solar

Es la posición angular en la que se encuentra el sol al mediodía, lo que quiere decir que es cuando el sol está en el meridiano local, con relación al plano del ecuador ( $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ ) (Duffie, y otros, 2013).

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

**Ecuación 2-18:** Ángulo de declinación solar

Donde:

$n$ : Día representativo del mes

- Angulo horario

Es el desplazamiento angular que realiza el sol al este o al oeste del meridiano local ocasionado por la rotación de la tierra sobre su 15° por hora. (Sabando Álvarez, 2017)

$$\omega_s = \arccos [-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)]$$

**Ecuación 2-19:** Angulo horario

Donde:

$\delta$ : Angulo de declinación solar

$\varnothing$ : Latitud

- Número de horas de sol teóricas

Es el número de horas útiles desde el momento en el que el sol sale y se oculta, este dato sirve como referencia para los diferentes equipos que usan la energía solar para su funcionamiento (Sabando Álvarez, 2017).

$$N = \frac{2}{15} * \cos^{-1} (-\tan \delta * \tan \varnothing)$$

**Ecuación 2-20:** Número de horas de sol teóricas

Donde:

$\delta$ : Angulo de declinación solar

$\varnothing$ : Latitud

- Radiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

Es la radiación solar al día que se acoge sobre una superficie teniendo en cuenta los valores del ángulo horario, la latitud, el ángulo de declinación y los días representativos del año, estos valores son constantes para una fecha y lugar específica. (Sabando Álvarez, 2017)

$$H_o = \frac{24 * G_{SC}}{\pi} * A * B$$

**Ecuación 2-21:** Radiación solar

Donde:

$G_{SC}$ : Constante Solar

n: Día representativo del mes

A y B: Constantes que se calculan a continuación

$$A = \left( 1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365} \right)$$

**Ecuación 2-22:** Constante 1

$$B = \left[ \cos \phi * \cos \delta * \sin \omega_s + \left( \frac{\pi * \omega_s}{180} \right) * \sin \phi * \sin \delta \right]$$

**Ecuación 2-23:** Constante 2

Donde:

$\omega_s$ : Angulo del ocaso

$\phi$ : Latitud

$\delta$ : Declinación solar

- Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

Es la relación entre la radiación solar y las horas de sol, se requiere también de la relación de Angstrom- Prescott y el promedio de heliofanía. (Sabando Álvarez, 2017)

$$H = H_o * \left[ (a + b) * \frac{n}{N} \right]$$

**Ecuación 2-24:** Radiación Solar

Donde:

$H_o$ : Radiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

$n$ : Heliofanía

$N$ : Horas de brillo solar teóricas

$a$  y  $b$ : Constantes de Angstrom

- Índice de claridad

Este parámetro mide la transparencia de la atmósfera y se utiliza para medir la radiación, el índice de claridad es una relación entre la radiación solar promedio y la radiación solar extraterrestre (Morales Pilataxi, 2017).

$$KT = \frac{H}{H_o}$$

**Ecuación 2-25:** Índice de claridad

Donde:

$H$ : Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

$H_o$ : Radiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

- Radiación solar diaria difusa

Esta radiación se calcula mediante el índice de claridad y es la que se receipta desde el sol y rápidamente es reflejada en la atmosfera y difundida en trayectorias diferentes (Morales Pilataxi, 2017).

$$Hd = H * (1,39 - 4,03 * KT + 5,53 * KT^2 - 3,11 * KT^3)$$

**Ecuación 2-26:** Radiación solar diaria difusa

Donde:

$H$ : Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

$KT$ : Índice de claridad

- Radiación solar diaria directa

Es la que se receipta desde el sol con una dirección que no tiene cambios al momento de llegar a la atmosfera, es la diferencia entre la Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal y la radiación solar diaria difusa (Sabando Álvarez, 2017).

$$Hb = H - Hd$$

**Ecuación 2-27:** Radiación solar diaria directa

Donde:

$H$ : Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

$Hd$ : Radiación solar diaria difusa

- Factor del cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

$$R_b = \frac{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\varnothing - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\varnothing - \beta) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\varnothing) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\varnothing) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}$$

**Ecuación 2-28:** Factor del cambio de ángulo

Donde:

$\beta$ : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio

$\varnothing$ : Latitud

$\delta$ : Declinación solar

$t_1$ : Tiempo inicial

$t_2$ : Tiempo final

- Radiación solar directa sobre una superficie inclinada

$$Hb_T = H_b * Rb$$

**Ecuación 2-29:** Radiación solar directa

Donde:

$H_b$ : Radiación solar diaria directa

$Rb$ : Factor del cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

- Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada

$$Hd_T = Hd * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

**Ecuación 2-30:** Radiación solar difusa

Donde:

$\beta$ : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio

$Hd$ : Radiación solar diaria difusa

- Radiación solar reflejada por el suelo

$$Hr_T = \rho * H \left[ \frac{1 + \cos (\beta)}{2} \right]$$

**Ecuación 2-31:** Radiación solar reflejada por el suelo

Donde:

$\beta$ : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio

$\rho$ : albedo (0.20) adimensional

$H$ : Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

- Estimación de la radiación solar sobre una superficie inclinada

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$

**Ecuación 2-32:** Estimación de la radiación solar

Donde:

$Hb_T$ : Radiación solar directa sobre una superficie inclinada

$Hd_T$ : Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada

$Hr_T$ : Radiación solar reflejada por el suelo

#### 2.7.2.5 *Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa*

Uno de los parámetros importantes a considerar al momento de llevar a cabo la destilación es la energía solar, misma que se utilizara para el cálculo de los balances de energía. Al calcular la radiación solar sobre una superficie inclinada, un parte de esta es reflejada, otra es absorbida y la última parte de esta se transmite en tres partes del destilador: la bandeja recolectora, el agua y el vidrio. (Sabando Álvarez, 2017)

$$Gs = H_b + H_d$$

**Ecuación 2-33:** Energía solar

Donde:

$H_b$ : Radiación solar diaria directa

$H_d$ : Radiación solar diaria difusa

#### 2.7.2.6 *Transferencia de calor por conducción*

Esta transferencia de calor está basada en los sistemas unidimensionales por la pared plana compuesta y su analogía eléctrica se estudia en la base del destilador. (Sabando Álvarez, 2017)

$$q_c = k_b * (T_w - T_a)$$

**Ecuación 2-34:** Transferencia de calor

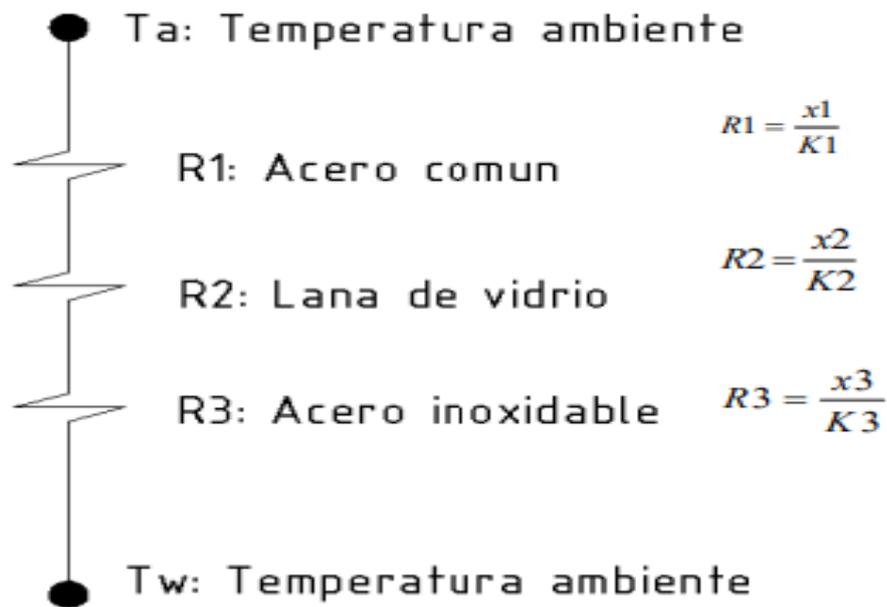
Donde:

$k_b$ : Resistencia térmica equivalente del aislante

$T_a$ : Temperatura ambiente

$T_w$ : Temperatura del agua

- Resistencia térmica equivalente de las paredes del colector



**Ilustración 2-2:** Diagrama del circuito interno del destilador

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$

**Ecuación 2-35:** Diagrama del circuito interno del destilador

Donde:

$x_1$ : Espesor de la plancha de acero de la base del colector

$x_2$ : Espesor del aislante (lana de vidrio)

$x_3$ : Espesor de la base de la estructura

$k_1$ : Coeficiente de conductividad térmica de la base del colector

$k_1$ : Coeficiente de conductividad térmica del aislante

$k_1$ : Coeficiente de conductividad térmica de la base de la estructura

- Coeficiente de transferencia de calor convectivo

El cálculo de este parámetro es útil para estimar la pérdida de calor por convección que se tiene y depende de la velocidad del viento. (Sabando Álvarez, 2017)

$$h_{ct} = 5,7 + 3,8 * v$$

**Ecuación 2-36:** Coeficiente de transferencia de calor convectivo

Donde:

$v$ : Velocidad del viento

- Resistencia térmica equivalente del aislante

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{h_{ct}}}$$

**Ecuación 2-37:** Resistencia térmica

Donde:

Req: Resistencia térmica equivalente de las paredes del colector

$h_{ct}$ : Coeficiente de transferencia de calor convectivo

- Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} * h_r$$

**Ecuación 2-38:** Coeficiente total de transferencia de calor 1

De donde los valores del coeficiente de transferencia de calor por convección entre el agua y la cubierta ( $h_c$ ) y el coeficiente de radiación efectivo ( $h_r$ ), se calculan de las siguientes formulas:

$$h_c = 0.884 \left[ (T_w - T_g) \frac{(P_w - P_{wv})}{268.9 * 10^3 - P_w} * (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 2-39:** Coeficiente total de transferencia de calor 2

Donde:

$P_w$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del agua

$P_{wv}$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del vidrio

$T_g$ : Temperatura del vidrio

$T_w$ : Temperatura del agua

$$h_r = \frac{\varepsilon_b * \sigma * (T_g^4 - T_w^4)}{T_g - T_w}$$

**Ecuación 2-40:** Coeficiente total de transferencia de calor 3

Donde:

$\varepsilon_b$ : Emisividad del acero inoxidable

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman

$T_g$ : Temperatura del vidrio

$T_w$ : Temperatura del agua

- Coeficiente de transferencia de calor por evaporación

$$h_e = 0,013h_T$$

**Ecuación 2-41:** Coeficiente de transferencia de calor por evaporación

Donde:

$h_T$ : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

#### 2.7.2.7 *Transferencia de calor por radiación en el vidrio*

$$q_{rg} = \varepsilon_v * \sigma * (T_g^4 - T_s^4)$$

**Ecuación 2-42:** Transferencia de calor por radiación en el vidrio

Donde:

$\varepsilon_v$ : Emisividad del vidrio

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman

$T_g$ : Temperatura del vidrio

$T_s$ : Temperatura del cielo

- Temperatura del cielo

$$T_s = T_a * \left( 0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0.25}$$

**Ecuación 2-43:** Temperatura del cielo

Donde:

$T_a$ : Temperatura ambiente

$T_{dp}$ : Temperatura de rocío

#### 2.7.2.8 Calor perdido por convección del vidrio

$$q_{cg} = h_{cv} * (T_g - T_a)$$

**Ecuación 2-44:** Calor perdido por convección del vidrio

Donde:

$h_{cv} = h_{ct}$ : Coeficiente de transferencia de calor convectivo

$T_g$ : Temperatura del vidrio

$T_a$ : Temperatura ambiente

#### 2.7.2.9 Calor perdido por radiación del agua

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * (T_w^4 - T_a^4)$$

**Ecuación 2-45:** Calor perdido por radiación del agua

Donde:

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann

$\varepsilon_w$ : Emisividad del agua

$\varepsilon_v$ : Emisividad del vidrio

$T_w$ : Temperatura del agua

$T_a$ : Temperatura ambiente

#### 2.7.2.10 Calor perdido por convección del agua

$$q_{cw} = h_T * (T_w - T_v)$$

**Ecuación 2-46:** Calor perdido por convección del agua

Donde:

$h_T$ : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

$T_g$ : Temperatura del vidrio

$T_w$ : Temperatura del agua

### 2.7.2.11 Calor perdido por evaporación

$$q_e = h_e * (P_w - P_{wv})$$

**Ecuación 2-47:** Calor perdido por evaporación

Donde:

$h_e$ : Coeficiente de transferencia de calor por evaporación

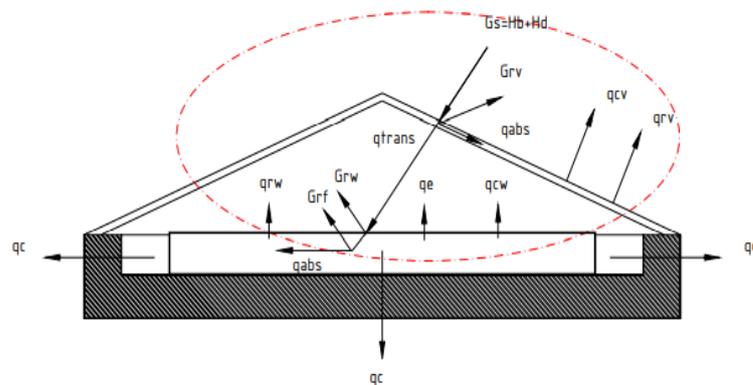
$P_w$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del agua

$P_{wv}$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del vidrio

### 2.7.2.12 Balances de energía en el destilador solar

Para realizar el balance de energía global del sistema, el sistema se dividirá en dos partes teniendo el primer balance de energía parcial en la cubierta y en el agua.

- Balance de energía parcial en la cubierta



**Ilustración 2-3:** Balance de energía en la cubierta del destilador

Realizado por: Quezada D., 2023.

*Energía de entrada – Energía de salida = Energía almacenada*

$$q_{rw} + q_{cw} + q_e + \alpha g * G_s - (q_{rg} + q_{cg}) = q'c$$

**Ecuación 2-48:** Balance de energía parcial en la cubierta

Donde:

$q_{rw}$ : Transferencia de calor por radiación en el agua

$q_{cw}$ : Calor perdido por convección del agua

$q_e$ : Calor perdido por evaporación

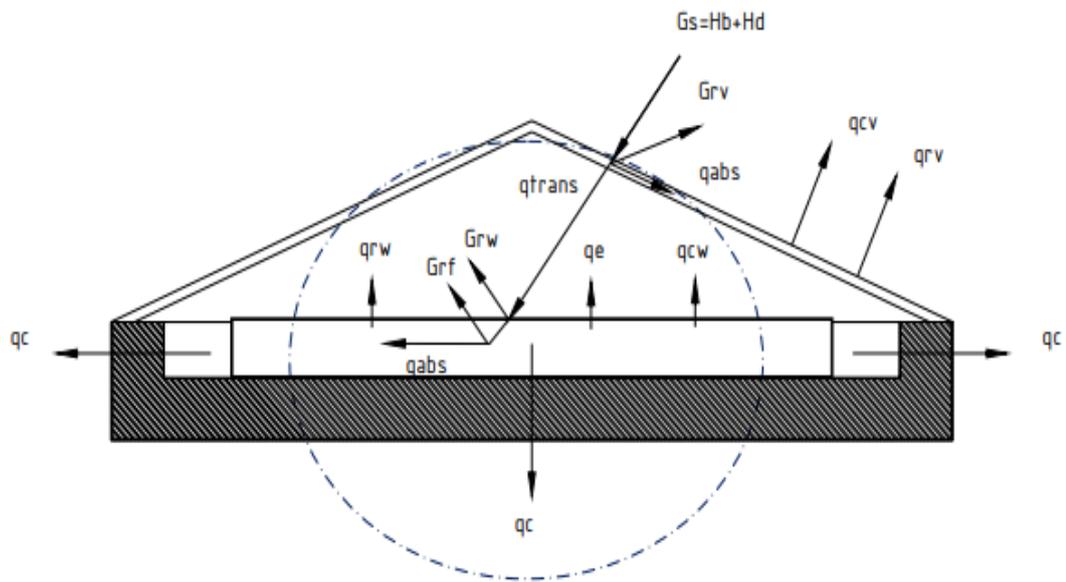
$\alpha g$ : Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio

$G_s$ : Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa

$q_{rg}$ : Transferencia de calor por radiación en el vidrio

$q_{cg}$ : Calor perdido por convección en el vidrio

- Balance energía parcial en el agua



**Ilustración 2-4:** Balance de energía en el agua

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

*Energía de entrada – Energía de salida = Energía almacenada*

$$G_s * (1 - \alpha g)(1 - \alpha w) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) = q' a$$

**Ecuación 2-49:** Balance energía parcial en el agua

Donde:

$q_{rw}$ : Transferencia de calor por radiación en el agua

$q_{cw}$ : Calor perdido por convección del agua

$q_e$ : Calor perdido por evaporación

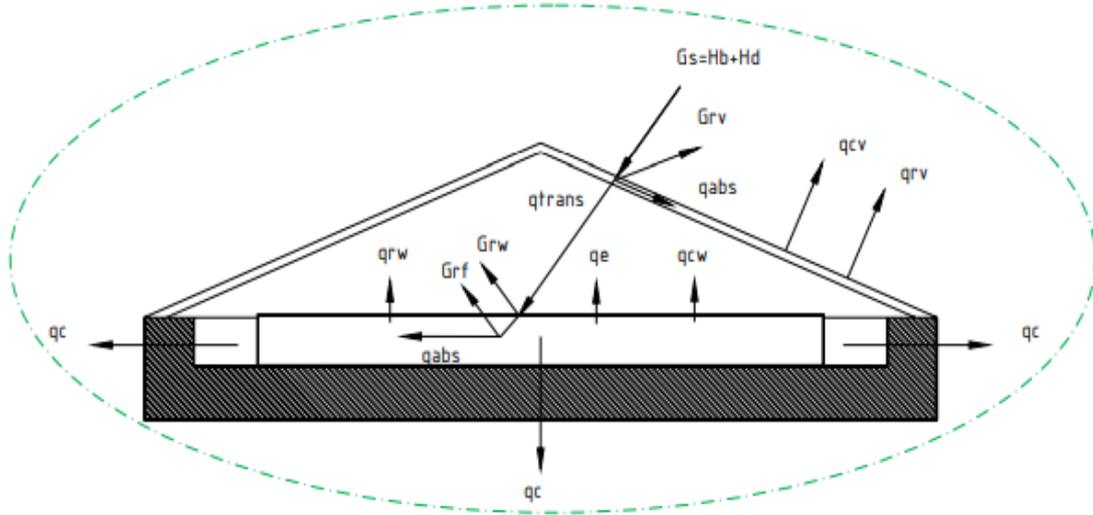
$q_c$ : Transferencia de calor por conducción

$\alpha g$ : Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio

$\alpha w$ : Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar por el agua y el fondo del destilador

$G_s$ : Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa

- Balance de energía del sistema



**Ilustración 2-5:** Balance de energía de todo el destilador

Realizado por: Quezada D., 2023.

*Energía de entrada – Energía de salida = Energía almacenada*

$$G_s * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) + \alpha_g * G_s - (q_{rg} + q_{cg} + q_c) = q'c + q'a$$

**Ecuación 2-50:** Balance de energía 1

$$q_t = q'c + q'a$$

**Ecuación 2-51:** Balance de energía 1

Entonces el calor almacenado por el destilador solar en función de su área de captación de energía es:

$$QT = q_t * A$$

**Ecuación 2-52:** Balance de energía 3

Donde:

$q_t$ : Energía almacenada del sistema

$A$ : Área de captación de energía solar

### 2.7.2.13 Calor necesario para calentar y evaporar

Este parámetro determina la cantidad de calor que se requiere para aumentar la temperatura de la cubierta, elevar la temperatura del agua para así lograr evaporarla.

$$QN = Qcg + Qcw + Qev$$

**Ecuación 2-53:** Calor necesario para calentar y evaporar

Donde:

$Qcg$ : Cantidad de calor que se requiere para calentar el vidrio

$Qcw$ : Cantidad de calor que se requiere para calentar el agua

$Qev$ : Cantidad de calor que se requiere para evaporar un porcentaje de agua

- Cantidad de calor que se requiere para calentar el vidrio

$$Qcg = mg * Cpg * (Tg - Ta)$$

**Ecuación 2-54:** Cantidad de calor para calentar el vidrio 1

y también tenemos

$$Qcg = qcg * Ag$$

**Ecuación 2-55:** Cantidad de calor para calentar el vidrio 2

$$mg = \rho g * Ag * Eg$$

**Ecuación 2-56:** Cantidad de calor para calentar el vidrio 3

Donde:

$\rho g$ : Densidad del vidrio

$Ag$ : Área del vidrio

$Eg$ : Espesor del vidrio

$mg$ : Masa del vidrio

$Cpg$ : Calor específico del vidrio

$Tg$ : Temperatura del vidrio

$Ta$ : Temperatura ambiente

$qcg$ : Calor perdido por convección en el vidrio

- Cantidad de calor que se requiere para calentar el agua

$$Q_{cw} = mw * C_{pw} * (T_w - T_a)$$

**Ecuación 2-57:** Cantidad de calor para calentar el agua 1

$$mw = \rho_w * V_w$$

**Ecuación 2-58:** Cantidad de calor para calentar el agua 2

Donde:

$mw$ : Masa del agua

$\rho_w$ : Densidad del agua

$V_w$ : Volumen del agua

$C_{pw}$ : Calor específico del agua

$T_w$ : Temperatura del agua

$T_a$ : Temperatura ambiente

- Cantidad de calor que se requiere para evaporar el agua

$$Q_{ev} = C_{vw} * mw$$

**Ecuación 2-59:** Cantidad de calor para calentar el agua 3

Donde:

$C_{vw}$ : Calor de vaporización del agua

$mw$ : Masa de agua

#### 2.7.2.14 Energía total del destilador solar

$$Q = Q_T + Q_N$$

**Ecuación 2-60:** Energía total del destilador solar

Donde:

$Q_T$ : Calor almacenado por el destilador solar en función del área del colector

$Q_N$ : Calor necesario para calentar y evaporar

### 2.7.3 *Lecho de secado*

El lecho de secado que se dimensiona en la planta es una laguna de secado la cual cuenta con un sistema de drenaje, hecho de una tubería poroso, la laguna estará construida en hormigón impermeable y el agua que se drene del lecho de secado será recirculada al destilador solar.

### 2.7.4 *Área laguna de secado*

$$A_{LS} = l \times a$$

**Ecuación 2-61:** Lecho de secado

Donde

*l*: Largo de laguna de secado

*a*: Ancho de la laguna de secado

### 2.7.5 *Volumen laguna de secado*

$$V_{LS} = A_{LS} \times p$$

**Ecuación 2-62:** Volumen laguna de secado

Donde:

*A<sub>LS</sub>*: Área de la laguna de secado

*p*: Profundidad de la laguna de secado

## 2.8 Normativa legal

En la actualidad en el Ecuador el control y regulación para las diferentes plantas de tratamiento de lixiviado que existen en nuestro país está a cargo del Ministerio del Ambiente, el mismo que establece límites máximos permisibles para su debida descarga en función de normas técnicas. En el Tulsma libro vi, anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, se establecen los diferentes parámetros y límites máximos que deberá cumplir el lixiviado para su descarga.

**Tabla 2-3:** Parámetros de caracterización

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas	mg/l	30,00
Arsénico Total (As)	mg/l	0,1
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/l	5,0
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/l	2,0
Boro (B)	mg/l	2,0
Cadmio (Cd)	mg/l	0,02
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/l	0,1
Cloruros (Cl)	mg/l	1000
Cobalto (Co)	mg/l	0,5
Cobre (Cu)	mg/l	1,0
Color	PtCo	1./20
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/l	0,5
DQO	mg/l	200
DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Estaño (Sn)	mg/l	5,0
Eschericha Coli	Col/100ml	2000
Fluoruros (F)	mg/l	5,0
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/l	10,0
Hierro Total (Fe)	mg/l	10,0
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/l	2,0
Níquel (Ni)	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	50,0
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	30,0
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	.....
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/l	0,1
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/l	0,2
Solidos Totales Disueltos (SST)	mg/l	130
Solidos Totales (ST)	mg/l	1600
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	1000
Temperatura	°C	± 3
Tensoactivos	mg/l	0,5
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/l	5,0

Fuente: Tulsma libro vi, anexo 1, tabla 9

Realizado por: Quezada, Daniel. 2023

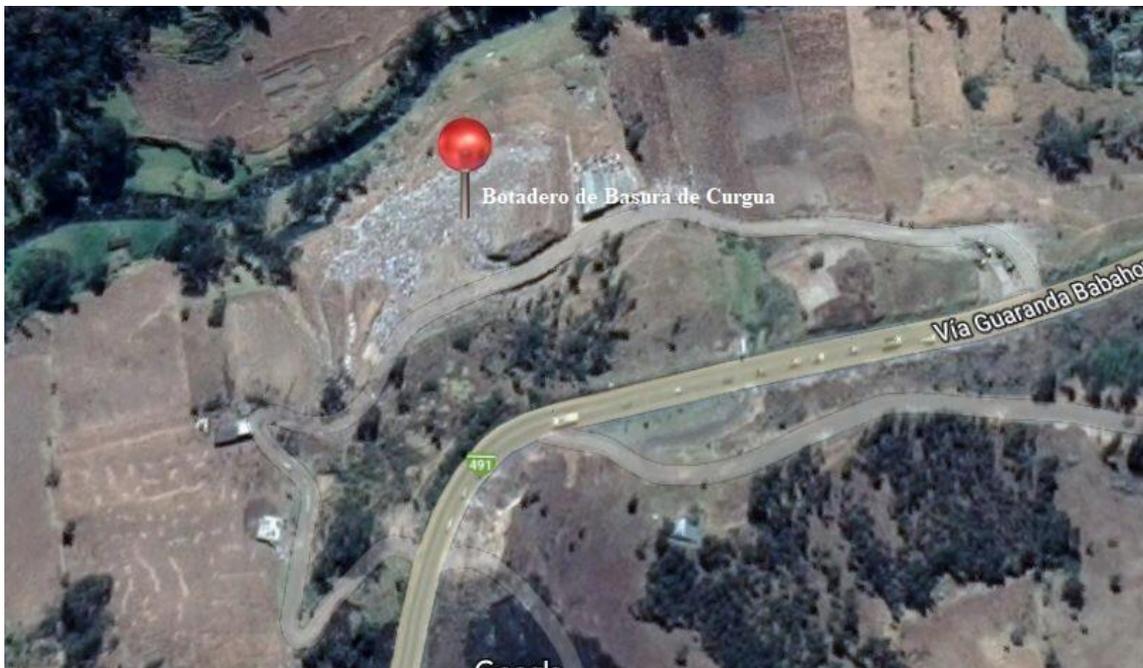
## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Descripción del botadero de basura de Curgua

##### 3.1.1 Localización del botadero de basura de Curgua

El botadero de basura de Curgua está ubicado en la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, Ecuador, junto a la ribera del río Guaranda, en las coordenadas 17M, 721907.60 m E, 9818982.11 m S.



**Ilustración 3-1:** Ubicación del botadero de Curgua

Fuente: Quezada D., 2023.

##### 3.1.2 Características del botadero de basura de Curgua

El botadero tiene una extensión aproximada de dos hectáreas, en este sitio hay 8 chimeneas para la descarga de gas metano, el cual es producido por los desechos sólidos. El sistema de drenaje de lixiviado generado en el botadero se realiza por medio de dos tuberías PVC de 50m y 30m, las cuales están conectadas y llevan el lixiviado a la primera caja recolectora que se encuentra a 12m de distancia, esta está conectada a un segundo tanque recolector que se encuentra a 45m de distancia.

## 3.2 Muestreo y caracterización del lixiviado

### 3.2.1.1 Muestreo

Para obtener muestras de lixiviado del botadero de basura de Curgua se empleó un muestreo simple tomando estas muestras en un mismo punto, pero en diferentes intervalos de tiempo, este muestreo fue realizado en base a la norma NTE INEN 2176:2013 y NTE INEN 2169:2013 para tener un correcto manejo, etiquetado, traslado y conservación para su correcta caracterización. Se tomaron dos muestras en recipientes plásticos de 4 litros, una para la caracterización del lixiviado crudo y la otra para la caracterización luego de haber sido tratado el lixiviado en el destilador solar piloto. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de control de calidad de agua de la EP-EMAPAG para realizar los respectivos análisis.

**Tabla 3-1:** Muestreos

Mes del muestreo	Fecha del Muestreo	Numero de muestras
Marzo	29/03/2023	2
Abril	05/04/2023	2
Abril	12/04/2023	2
Abril	19/04/2023	2
Abril	26/04/2023	2
Mayo	03/05/2023	2

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 3.2.1.2 Caracterización del lixiviado

Las muestras de lixiviado crudo y lixiviado tratado fueron llevadas al laboratorio de control de calidad de agua de la EP-EMAPAG para realizar los respectivos análisis.

**Tabla 3-2:** Métodos de caracterización

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35
Arsénico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-01
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-02
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38

Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-04
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-06
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10
Cromo (Cr <sup>6</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-12
DQO	mg/L	AN-EMAPAG-44
DBO <sub>5</sub>	mg/L	AN-EMAPAG-45
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40
Escherichia Coli	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-17
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-19
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24
Oxígeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-38
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-27
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-28
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	AN-EMAPAG-57
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-30
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-34

Fuente: EP-EMAPAG

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 3.3 Pruebas de tratabilidad del lixiviado

Las muestras de lixiviado fueron tratadas en la ciudad de Guaranda provincia Bolívar, en un destilador solar de 12 litros de capacidad de tipo invernadero, el cual consta de una bandeja recolectora y una estructura de soporte para dicha bandeja, el destilador fue construido en acero inoxidable y cubierta de vidrio simple.

### 3.4 Diseño de la planta de tratamiento propuesto

El diseño propuesto consta de los siguientes procesos:

- Sistema de acumulación

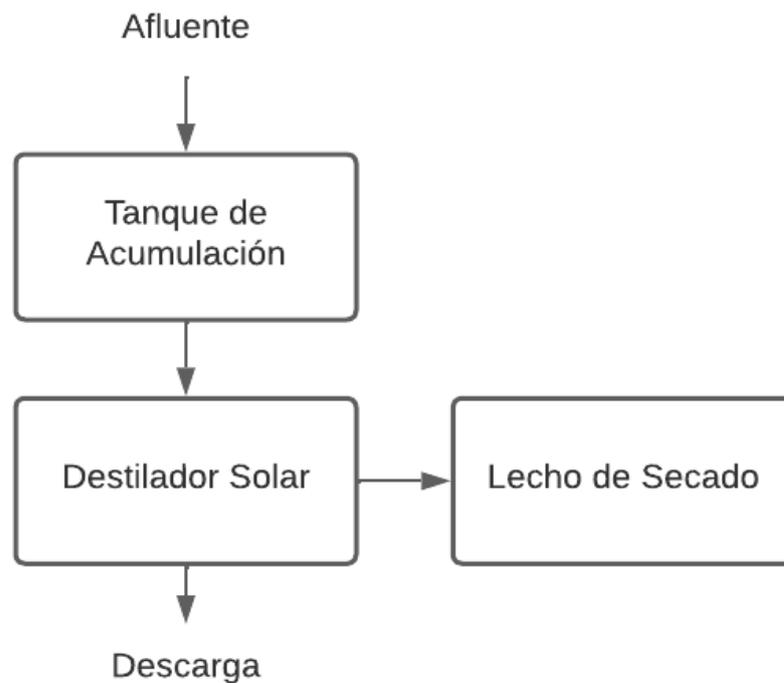
En esta parte del proceso es donde se ira acumulando todo el lixiviado que sea generado por los desechos sólidos del botadero.

- Destilador solar

Aquí ocurre el proceso de destilación solar del lixiviado de donde se recolectará el agua destilada en los canales del destilador para su posterior descarga, esta etapa contara con 3 destiladores que estarán conectados al sistema de acumulación.

- Lecho de secado

Se lleva a cabo la deshidratación de los lodos resultantes de la destilación solar del lixiviado generado en el botadero de basura.



**Ilustración 3-2:** Diagrama de bloques de la planta de tratamiento

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 3.5 Dimensionamiento de la planta

**Tabla 3-3:** Variables y constantes

Variable/Constante	Símbolo	Valor	
Latitud	$\phi$	-1,59263	Quezada, Daniel
Constantes de Angstrom	a	0,28233	(Contreras-Sepúlveda, y otros, 2021)
	b	0,504600	
Albedo	$\rho$	0,20	(Sabando Álvarez, 2017)
Constante Solar	$G_{sc}$	$1353 \frac{W}{m^2}$	(García-Badell, 1983)
Espesor de la plancha de acero de la base del colector	x1	0,00127m	Quezada, Daniel
Espesor del aislante	x2	0,05m	Quezada, Daniel
Espesor de la base de la estructura	x3	0,011m	Quezada, Daniel
Coefficiente de conductividad térmica de la base del colector	k1	$15 \frac{W}{m * k}$	Quezada, Daniel
Coefficiente de conductividad térmica del aislante	k2	$0,032 \frac{W}{m * k}$	Quezada, Daniel
Coefficiente de conductividad térmica de la base de la estructura	k3	$52 \frac{W}{m * k}$	Quezada, Daniel
Velocidad del viento	v	$1,93 \frac{m}{s}$	(Sabando Álvarez, 2017)
Temperatura ambiente	$T_{\alpha}$	288,65k	Quezada, Daniel
Temperatura del vidrio	$T_g$	298,15k	Quezada, Daniel
Temperatura del agua	$T_w$	311,55K	Quezada, Daniel
Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del agua	$P_w$	6813,88Pa	
Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del vidrio	$P_{wg}$	3169,75Pa	
Emisividad del vidrio	$\epsilon_g$	0,35	Quezada, Daniel
Emisividad del agua	$\epsilon_w$	0,93	Quezada, Daniel
Emisividad de acero inoxidable de la bandeja colectora	$\epsilon_b$	0,98	Quezada, Daniel
Constante de Stefan Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \times 10^{-8}$	(Morales Pilataxi, 2017)

Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio	$\alpha_g$	0,1	(Morales Pilataxi, 2017)
Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar por el agua y el fondo del destilador	$\alpha_w$	0,3	(Morales Pilataxi, 2017)
Calor específico del vidrio	$C_{pg}$	$838 \frac{J}{kg}$	Quezada, Daniel
Calor específico del agua	$C_{pw}$	$4180 \frac{J}{kg}$	Quezada, Daniel
Calor de vaporización del agua	$C_{vw}$	$540 \frac{cal}{g}$	Quezada, Daniel
Densidad del vidrio	$\rho_g$	$2500 \frac{kg}{m^3}$	(Morales Pilataxi, 2017)
Densidad del agua	$\rho_w$	$1000 \frac{kg}{m^3}$	Quezada, Daniel

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 3.5.1 Sistema de acumulación

#### 3.5.1.1 Generación de lixiviado por efecto de las condiciones meteorológicas del lugar

- Cálculo del caudal por el método suizo

$$Q_1 = \frac{1 * 3,5 \times 10^{-3} \frac{m}{mes} * 20000 m^2 * 0,15}{2678400}$$

$$Q_1 = 3,92 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = \frac{1 * 0,4833 \frac{m}{año} * 20000 m^2 * 0,25}{31536000 s}$$

$$Q_2 = 6,53 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{ms} = \frac{3,92 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} + 6,53 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{2}$$

$$Q_{ms} = 5,23 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

- Caudal por balance hídrico de infiltración del botadero

El caudal por balance hídrico para el mes de junio fue proporcionado por la dirección de gestión ambiental de la ciudad de Guaranda, cuyo valor es:

$$LL = 8,65 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_T = \frac{8,65 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} + 5,23 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{2}$$

$$Q_T = 6,94 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

### 3.5.1.2 Tanque de acumulación

El botadero de basura cuenta con un tanque de acumulación que esta dimensionado con las siguientes especificaciones:

Largo: 6m

Ancho: 1m

Profundidad: 1,5m

$$A_{bTa} = 6m \times 1m$$

$$A_{bTa} = 6m^2$$

Entonces

$$V_{Ta} = 6m^2 \times 1,5m$$

$$V_{Ta} = 9m^3$$

### 3.5.1.3 Tiempo de llenado del tanque de acumulación

$$t_{ll} = \frac{9m^3}{6,94 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}$$

$$t_{ll} = 1296000s = t_{ll} = 15 \text{ días}$$

### 3.5.2 Destilador solar

El diseño de la planta cuenta con tres destiladores en paralelo, cada uno con una capacidad de  $3m^3$  y un área de la bandeja recolectora  $6m^2$ .

### 3.5.2.1 Bandeja recolectora

- Altura de la bandeja recolectora

$$h_{Br} = \frac{3m^3}{6m^2}$$
$$h_{Br} = 0,5m$$

- Ancho de la bandeja recolectora

$$a = \sqrt{\frac{6m^2}{3}}$$
$$a = 1,41m$$

- Largo de la bandeja recolectora

$$l = 3 \times 1,41m$$
$$l = 4,24m$$

### 3.5.2.2 Estructura de soporte

- Altura

$$h = 0,5m + 0,05m$$
$$h = 0,55m$$

- Ancho

$$a_{ES} = 1,41m + (0,1m * 2)$$
$$a_{ES} = 1,61m$$

- Largo

$$l_{ES} = 4,24m + 0,1m$$
$$l_{ES} = 4,34m$$

### 3.5.2.3 Cubierta del destilador

- Altura

$$b_{CD} = \frac{1,61m}{2}$$

$$b_{CD} = 0,805m$$

$$h_{CD} = \tan 30^\circ * 0,805m$$

$$h_{CD} = 0,464m$$

$$a_g = \sqrt{(0,805m)^2 + (0,464m)^2}$$

$$a_g = 0,930m$$

- Área

$$A_{g1} = (4,34m * 0,6972m) * 2$$

$$A_{g1} = 6,05 m^2$$

$$A_{g2} = \left( \frac{1,61m * 0,402m}{2} \right) * 2$$

$$A_{g2} = 0,65 m^2$$

$$A_{CD} = 6,05m^2 + 0,65m^2$$

$$A_{CD} = 6,7m^2$$

### 3.5.2.4 Radiación solar en el destilador

Se detallan los cálculos para el mes de junio:

- Angulo de declinación solar

$$\delta = 23.45 * \sin \left( 360 \frac{284 + 162}{365} \right)$$

$$\delta = 1,58$$

- Angulo horario

$$\omega_s = \arccos [-\tan(1,58) \cdot \tan(-1,59263)]$$

$$\omega_s = 89,95$$

- Número de horas de sol teóricas

$$N = \frac{2}{15} * \cos^{-1}(-\tan(1,58) * \tan(-1,59263))$$

$$N = 12 \text{ horas}$$

- Radiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

$$A = 0,97$$

$$B = 0,99$$

$$H_o = \frac{24 * 1353 \frac{W}{m^2}}{\pi} * 0,97 * 0,99$$

$$H_o = 9925,81 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal

$$H = 9925,81 \frac{W * h}{m^2 * d} * \left[ (0,28233 + 0,504600) * \frac{7,59}{12} \right]$$

$$H = 4940,41 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Índice de claridad

$$KT = \frac{4940,41 \frac{W * h}{m^2 * d}}{9925,81 \frac{W * h}{m^2 * d}}$$

$$KT = 0,4977$$

- Radiación solar diaria difusa

$$Hd = 4940,41 \frac{W * h}{m^2 * d} * (1,39 - 4,03 * 0,4977 + 5,53 * 0,4977^2 - 3,11 * 0,4977^3)$$

$$Hd = 1831,26 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Radiación solar diaria directa

$$Hb = 4940,41 \frac{W * h}{m^2 * d} - 1831,26 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$Hb = 3109,15 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Factor del cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

$$R_b = \frac{\text{sen}(1,58) * \text{sen}(-1,59263 - 30) * (12 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(1,58) * \cos(-1,59263 - 30) * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 12)]}{\text{sen}(1,58) * \text{sen}(-1,59263) * (12 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(1,58) * \cos(-1,59263) * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 12)]}$$

$$R_b = 0,84$$

- Radiación solar directa sobre una superficie inclinada

$$Hb_T = 3109,15 \frac{W * h}{m^2 * d} * 0,84$$

$$Hb_T = 2611,69 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada

$$Hd_T = 1831,26 \frac{W * h}{m^2 * d} * \left( \frac{1 + \cos 30}{2} \right)$$

$$Hd_T = 1708,59 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Radiación solar reflejada por el suelo

$$Hr_T = 0,20 * 4940,41 \frac{W * h}{m^2 * d} * \left[ \frac{1 + \cos(30)}{2} \right]$$

$$Hr_T = 921,89 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Estimación de la radiación solar sobre una superficie inclinada

$$H_T = 2611,69 \frac{W * h}{m^2 * d} + 1708,59 \frac{W * h}{m^2 * d} + 921,89 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$H_T = 5242,17 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

### 3.5.2.5 Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa

$$G_s = 3109,15 \frac{W * h}{m^2 * d} + 1831,26 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$G_s = 4940,41 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.6 Transferencia de calor por conducción

- Resistencia térmica equivalente de las paredes del colector

$$Req = \frac{0,00127m}{15 \frac{W}{m * k}} + \frac{0,05m}{0,032 \frac{W}{m * k}} + \frac{0,011m}{52 \frac{W}{m * k}}$$

$$Req = 1,56 \frac{m^2 * k}{W}$$

- Coeficiente de transferencia de calor convectivo

$$hct = 5,7 + 3,8 * 1,93 \frac{m}{s}$$

$$hct = 13,034 \frac{W}{m^2 * k}$$

- Resistencia térmica equivalente del aislante

$$Kb = \frac{1}{1,56 \frac{m^2 * k}{W} + \frac{1}{13,034 \frac{W}{m^2 * k}}}$$

$$Kb = 0,61 \frac{W}{m^2 * k}$$

$$q_c = 0,61 \frac{W}{m^2 * k} * (311,65 - 288,65)k$$

$$q_c = 14,03 \frac{W}{m^2}$$

- Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

$$h_c = 0,884 \left[ (311,65 - 298,15)k \frac{(6813,88Pa - 3169,75Pa)}{268,9 * 10^3 - 6813,88Pa} * (311,65 + 273)k \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 4,79 \frac{W}{m^2 * k}$$

$$h_r = \frac{0,35 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * k^4} * (298,15^4 - 311,65^4)k^4}{298,15 - 311,65}$$

$$h_r = 2,25 \frac{W}{m^2 * k}$$

$$h_T = 4,79 \frac{W}{m^2 * k} + \frac{3}{4} * 2,25 \frac{W}{m^2 * k}$$

$$h_T = 6,48 \frac{W}{m^2 * k}$$

- Coeficiente de transferencia de calor por evaporación

$$h_e = 0,013 * 6,48 \frac{W}{m^2 * k}$$

$$h_e = 0,0842 \frac{W}{m^2 * k}$$

### 3.5.2.7 Transferencia de calor por radiación en el vidrio

- Temperatura del cielo

$$T_s = 288,65k * \left( 0,8 + \frac{280,22k - 273}{250} \right)^{0,25}$$

$$T_s = 275,42k$$

$$q_{rg} = 0,98 * 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * k^4} * (298,15^4 - 275,42^4)k^4$$

$$q_{rg} = 119,35 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.8 Calor perdido por convección del vidrio

$$q_{cg} = 13,034 \frac{W}{m^2 * k} * (298,15 - 288,65)k$$

$$q_{cg} = 123,82 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.9 Calor perdido por radiación del agua

$$q_{rw} = \frac{5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * k^4}}{\frac{1}{0,93} + \frac{1}{0,98} - 1} * (311,65^4 - 288,65^4)k^4$$

$$q_{rw} = 128,93 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.10 Calor perdido por convección del agua

$$q_{cw} = 6,48 \frac{W}{m^2 * k} * (311,65 - 298,15)k$$

$$q_{cw} = 87,48 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.11 Calor perdido por evaporación

$$q_e = 0,0842 \frac{W}{m^2 * k} * (6813,88 - 3169,75)Pa$$

$$q_e = 306,84 \frac{W}{m^2}$$

### 3.5.2.12 Balances de energía en el destilador solar

- Balance de energía parcial en la cubierta

$$128,93 \frac{W}{m^2} + 87,48 \frac{W}{m^2} + 306,84 \frac{W}{m^2} + 0,1 * 4940,41 \frac{W}{m^2} - \left( 119,35 \frac{W}{m^2} + 123,82 \frac{W}{m^2} \right) = q'c$$

$$774,48 \frac{W}{m^2} = q'c$$

- Balance energía parcial en el agua

$$4940,41 \frac{W}{m^2} * (1 - 0,1)(1 - 0,3) - (128,93 \frac{W}{m^2} + 87,48 \frac{W}{m^2} + 306,84 \frac{W}{m^2} + 14,03 \frac{W}{m^2}) = q'a$$

$$2574,82 \frac{W}{m^2} = q'a$$

- Balance de energía del sistema

$$4940,41 \frac{W}{m^2} * (1 - 0,3)(1 - 0,1) + 0,1 * 4940,41 \frac{W}{m^2} - (119,35 \frac{W}{m^2} + 123,82 \frac{W}{m^2} + 14,03 \frac{W}{m^2}) = 774,12 \frac{W}{m^2} + 2575,18 \frac{W}{m^2}$$

$$3349,3 \frac{W}{m^2} = 3349,3 \frac{W}{m^2}$$

$$qt = 774,48 \frac{W}{m^2} + 2574,82 \frac{W}{m^2}$$

$$qt = 3349,3 \frac{W}{m^2}$$

$$QT = 3349,3 \frac{W}{m^2} * 6m^2$$

$$QT = 20095,8W$$

### 3.5.2.13 Calor necesario para calentar y evaporar

- Cantidad de calor que se requiere para calentar el vidrio

$$mg = 2500 \frac{kg}{m^3} * 6,7m^2 * 0,004m$$

$$mg = 67kg$$

$$Qcg = 67kg * 838 \frac{J}{kg * k} * (298,15 - 288,65)k$$

$$Qcg = 533387 \frac{J * h}{día} = 148,16 \frac{W * h}{día}$$

$$Qcg = 123,82 \frac{W}{m^2} * 6,7m^2$$

$$Qcg = 829,59W$$

- Cantidad de calor que se requiere para calentar el agua

$$mw = 1000 \frac{kg}{m^3} * 3m^3$$

$$mw = 3000kg$$

$$Q_{cw} = 3000kg * 4180 \frac{J}{kg * k} * (311,65 - 288,65)$$

$$Q_{cw} = 288420000 \frac{J * h}{día} = 80116,66 \frac{W * h}{día}$$

$$Q_{cw} = 80116,66 \frac{W * h}{día} * \frac{1 \text{ día}}{4,95 \text{ h}}$$

$$Q_{cw} = 16185,18W$$

- Cantidad de calor que se requiere para evaporar un porcentaje de agua

$$Q_{ev} = 540 \frac{cal}{g} * (3000kg * \frac{1000g}{1kg})$$

$$Q_{ev} = 1620000000cal = 1884060 \frac{W * h}{día}$$

$$Q_{ev} = 1884060 \frac{W * h}{día} * \frac{1 \text{ día}}{4,95 \text{ h}}$$

$$Q_{ev} = 380618,18W$$

$$Q_N = 829,59W + 16185,18W + 380618,18W$$

$$Q_N = 397632,95W$$

#### 3.5.2.14 Energía total del destilador solar

$$Q = 20095,8W + 397632,95W$$

$$Q = 417728,75W$$

#### 3.5.2.15 Tiempo total de destilación

Durante las pruebas de tratabilidad realizadas se tomó el tiempo que demoro el culminar el proceso de destilación del lixiviado teniendo como resultados los siguientes datos.

**Tabla 3-4:** Tiempo total de destilación

Muestreo	Tiempo total (h)
1	192
2	168
3	168
4	168
5	192
6	168

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 3.5.3 Laguna de secado

El sistema de drenaje de la laguna es de tubería porosa en el interior de la laguna de secado la cual se conecta a una tubería PVC que lleva el agua drenada al destilador solar.

Largo: 1,5m

Ancho: 0,75m

Profundidad: 0,5m

- Área de la laguna de secado

$$A_{LS} = 1,5m \times 0,75m$$

$$A_{LS} = 1,125m^2$$

- Volumen de la laguna de secado

$$V_{LS} = 1,125m^2 \times 0,5m$$

$$V_{LS} = 0,5625m^3$$

### 3.6 Elaboración de planos de la planta de tratamiento

Con los resultados de los cálculos de ingeniería se realizaron los planos empleando el software Fusion 360, obteniendo una representación a escala con las diferentes unidades a usar y la toda la información necesaria para la implementación de la planta de tratamiento de lixiviados.

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Parámetros caracterizados

**Tabla 4-1:** Resultados muestreo 1

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 1		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	40,16	2,64	93,426
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,009	0,005	44,444
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,16	0,94	77,404
Boro (B)	mg/L	2	3,91	1,36	65,217
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,008	0,005	37,500
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,25	0,008	96,800
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	745,93	26,37	96,465
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,008	0,004	50,000
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,007	0,003	57,143
Color	PtCo	1./20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,46	0,006	98,696
DQO	mg/L	200	3569,02	26,37	99,261
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1790,37	12,98	99,275
Estaño (Sn)	mg/L	5	0,38	0,16	57,895
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4000	Ausencia	100
Fluoruros (F)	mg/L	5	9,63	1,63	83,074
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	25,64	3,64	85,803
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	20,18	6,52	67,691
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	2,58	1,97	23,643
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,008	0,005	37,500
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	52,69	25,38	51,831
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,64	3,64	80,472
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,25	4,68	94,658
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,008	0,007	12,500
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,007	0,006	14,286
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	250,97	62,39	75,140

Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	482,32	120,08	75,104
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	44	2	95,455
Temperatura	° C	± 3	16,99	14,96	11,948
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,67	0,26	92,916
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	2,03	0,97	52,217

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-2: Resultados muestreo 2**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 2		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	41,06	2,14	94,788
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,008	0,004	50,000
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,26	0,88	79,343
Boro (B)	mg/L	2	4,08	1,35	66,912
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,007	0,005	28,571
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,23	0,006	97,391
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	462,97	22,64	95,110
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,008	0,005	37,500
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,008	0,004	50,000
Color	PtCo	1/20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,52	0,005	99,038
DQO	mg/L	200	3786,02	24,07	99,364
DBOs	mg/L	100	1863,21	11,98	99,357
Estaño (Sn)	mg/L	5	0,41	0,14	65,854
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4200	Ausencia	100
Fluoruros (F)	mg/L	5	9,76	1,15	88,217
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	28,73	3,19	88,897
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	21,09	5,93	71,882
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	2,94	1,47	50,000
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,009	0,004	55,556
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	53,74	19,64	63,454
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,73	2,34	87,507
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,31	2,94	89,456

Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,008	0,006	25,000
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,008	0,006	25,000
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	264,28	59,34	77,547
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	529,67	110,34	79,168
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	46	2	95,652
Temperatura	° C	± 3	15,98	14,99	6,195
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,95	0,22	94,430
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	2,15	0,93	56,744

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-3: Resultados muestreo 3**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 3		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	39,57	2,98	92,469
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,007	0,005	28,571
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,52	0,78	82,743
Boro (B)	mg/L	2	4,13	1,96	52,542
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,007	0,006	14,286
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,28	0,005	98,214
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	450,17	23,15	94,857
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,009	0,004	55,556
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,007	0,005	28,571
Color	PtCo	1./20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,55	0,006	98,909
DQO	mg/L	200	3846,02	26,28	99,317
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1762,39	13,98	99,207
Estaño (Sn)	mg/L	5	0,46	0,16	65,217
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4700	Ausencia	100
Fluoruros (F)	mg/L	5	8,64	1,17	86,458
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	27,36	2,98	89,108
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	22,03	4,96	77,485
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	2,76	1,25	54,710
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,008	0,005	37,500
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	50,18	19,37	61,399

Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,64	2,36	87,339
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,34	2,17	84,332
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,008	0,005	37,500
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,007	0,005	28,571
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	271,65	60,15	77,858
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	510,01	112,69	77,904
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	42	2	95,238
Temperatura	° C	± 3	15,95	14,63	8,276
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,82	0,28	92,670
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	1,96	0,85	56,633

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-4: Resultados muestreo 4**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 4		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	41,05	3,11	92,424
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,008	0,005	37,500
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,46	0,68	84,753
Boro (B)	mg/L	2	4,29	1,54	64,103
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,007	0,005	28,571
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,32	0,006	98,125
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	450,98	22,95	94,911
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,008	0,005	37,500
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,008	0,005	37,500
Color	PtCo	1/20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,52	0,005	99,038
DQO	mg/L	200	3745,02	25,61	99,316
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1705,19	13,64	99,200
Estaño (Sn)	mg/L	5	0,48	0,18	62,500
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4500	Ausencia	100
Fluoruros (F)	mg/L	5	9,52	1,12	88,235
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	26,28	2,85	89,155
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	24,34	3,95	83,772

Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	2,18	1,28	41,284
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,007	0,006	14,286
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	49,63	18,64	62,442
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,61	2,15	88,447
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,35	2,25	84,444
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,007	0,006	14,286
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,008	0,004	50,000
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	280,64	58,02	79,326
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	550,39	114,13	79,264
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	44	2	95,455
Temperatura	° C	± 3	15,63	14,96	4,287
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,64	0,26	92,857
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	1,82	0,83	54,396

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-5:** Resultados muestreo 5

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 5		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	40,08	2,93	92,690
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,007	0,006	14,286
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,25	0,58	86,353
Boro (B)	mg/L	2	4,11	1,49	63,747
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,007	0,006	14,286
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,35	0,004	98,857
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	440,63	24,39	94,465
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,007	0,006	14,286
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,007	0,005	28,571
Color	PtCo	1./20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,49	0,006	98,776
DQO	mg/L	200	3842,03	26,52	99,310
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1756,11	12,67	99,279
Estaño (Sn)	mg/L	5	0,51	0,22	56,863
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4600	Ausencia	100

Fluoruros (F)	mg/L	5	9,84	1,09	88,923
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	26,37	2,17	91,771
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	23,68	3,24	86,318
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	2,26	1,23	45,575
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,008	0,005	37,500
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	49,83	17,26	65,362
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,78	1,98	89,457
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,38	2,11	81,991
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,008	0,005	37,500
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,007	0,006	14,286
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	270,19	60,13	77,745
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	560,28	110,28	80,317
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	46	2	95,652
Temperatura	° C	± 3	15,87	14,15	10,838
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,71	0,22	94,070
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	1,92	0,74	61,458

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-6:** Resultados muestreo 6

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Muestra 6		
			Crudo	Destilado	% Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	30	42,39	2,98	92,970
Arsénico Total (As)	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,000
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5	0,008	0,004	50,000
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2	4,16	1,25	69,952
Boro (B)	mg/L	2	3,98	0,89	77,638
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	0,007	0,004	42,857
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,1	0,25	0,005	98,000
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	470,85	24,08	94,886
Cobalto (Co)	mg/L	0,5	0,008	0,007	12,500
Cobre (Cu)	mg/L	1	0,007	0,008	-14,286
Color	PtCo	1/20	150	5	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0,5	0,53	0,006	98,868
DQO	mg/L	200	3846,03	26,02	99,323
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	1864,28	12,58	99,325

Estaño (Sn)	mg/L	5	0,42	0,13	69,048
Eschericha Coli	Col/100 mL	2000	4300	Ausencia	100
Fluoruros (F)	mg/L	5	9,85	1,16	88,223
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10	27,96	3,61	87,089
Hierro Total (Fe)	mg/L	10	26,91	4,95	81,605
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2	3,12	1,32	57,692
Níquel (Ni)	mg/L	2	0,009	0,005	44,444
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	52,96	20,56	61,178
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	30	18,96	3,15	83,386
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	.....	0,28	3,65	92,329
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	0,1	0,007	0,005	28,571
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	0,2	0,008	0,004	50,000
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	130	274,39	58,23	78,778
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	526,38	112,08	78,707
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	44	2	95,455
Temperatura	° C	± 3	15,64	14,82	5,243
Tensoactivos	mg/L	0,5	3,74	0,26	93,048
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5	2,17	0,85	60,829

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-7:** Promedio de remoción

Parámetros	Promedio de remoción por parámetro
Aceites y Grasas	93,128
Arsénico Total (As)	0
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	37,467
Bario (Ba <sup>2+</sup> )	80,091
Boro (B)	65,027
Cadmio (Cd)	27,679
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	97,898
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	95,116
Cobalto (Co)	34,557
Cobre (Cu)	31,25
Color	96,667
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	98,888
DQO	99,315

DBO <sub>5</sub>	99,274
Estaño (Sn)	62,896
Eschericha Coli	100
Floruros (F)	87,188
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	88,637
Hierro Total (Fe)	78,125
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )	45,484
Níquel (Ni)	37,798
Nitrógeno Total Kjeldahl	60,944
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	86,101
Oxígeno Disuelto (OD)	87,868
Plata (Ag <sup>+</sup> )	25,893
Plomo (Pb <sup>2+</sup> )	30,357
Sólidos Totales Disueltos (SST)	77,732
Sólidos Totales (ST)	78,411
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	95,484
Temperatura	7,798
Tensoactivos	93,332
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	57,046

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

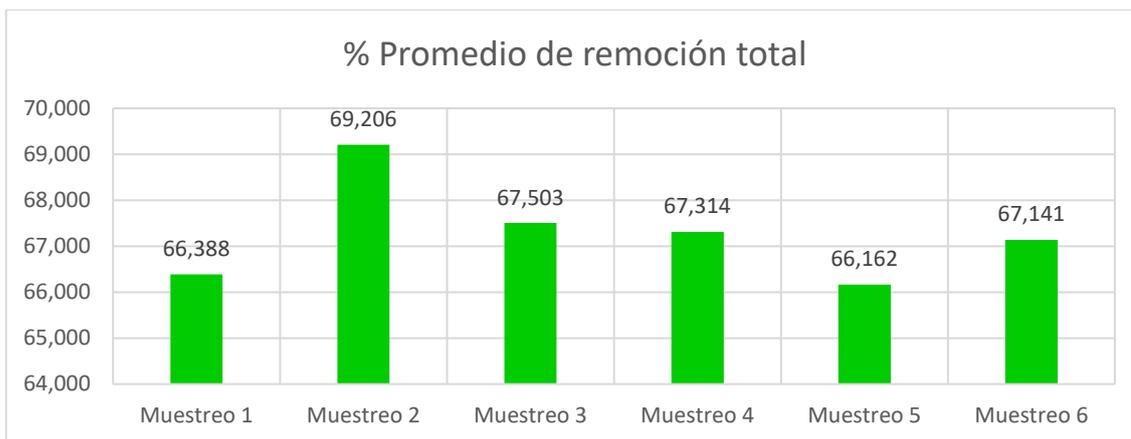
En la tabla 14-4 e Ilustración 8-4 se detalla los resultados de remoción promedio que se logró luego de la destilación solar del lixiviado durante cada muestreo. En la ilustración 9-4 se muestra el porcentaje promedio de remoción de cada parámetro que nos indica el TULSMA.

**Tabla 4-8:** Promedio por muestreo

Muestreo	% Promedio de remoción total
1	66,388
2	69,206
3	67,503
4	67,314
5	66,162
6	67,141
<b>Promedio Total</b>	<b>67,286</b>

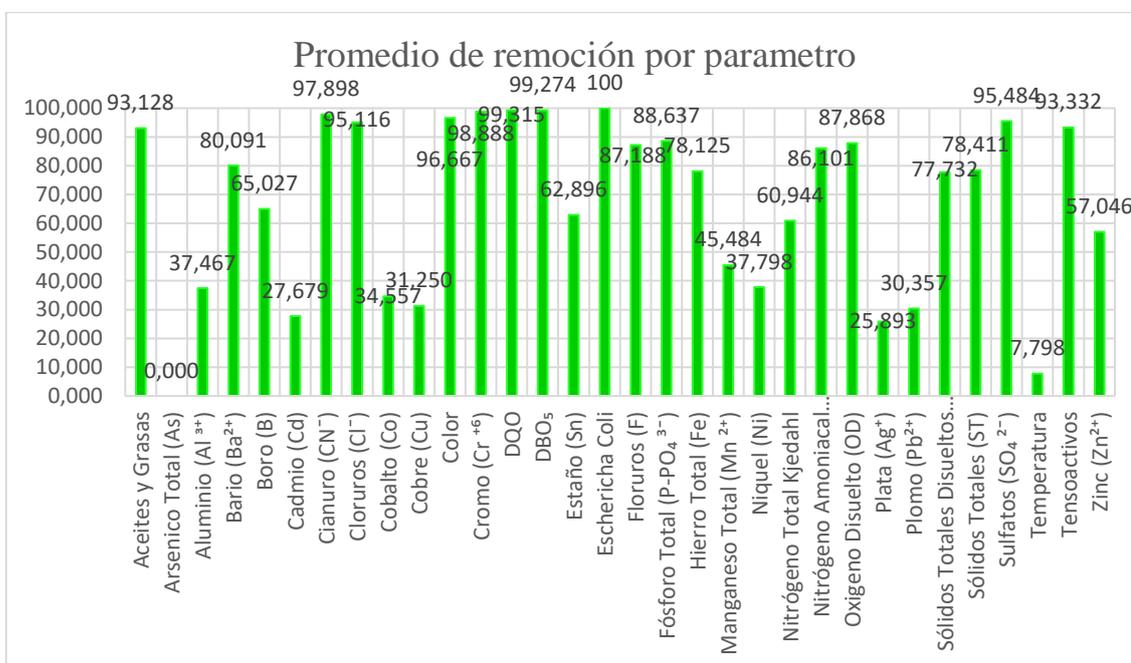
**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-1:** Promedio remoción en cada muestreo

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-2:** Promedio de remoción en cada parámetro

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.1 Aceites y grasas

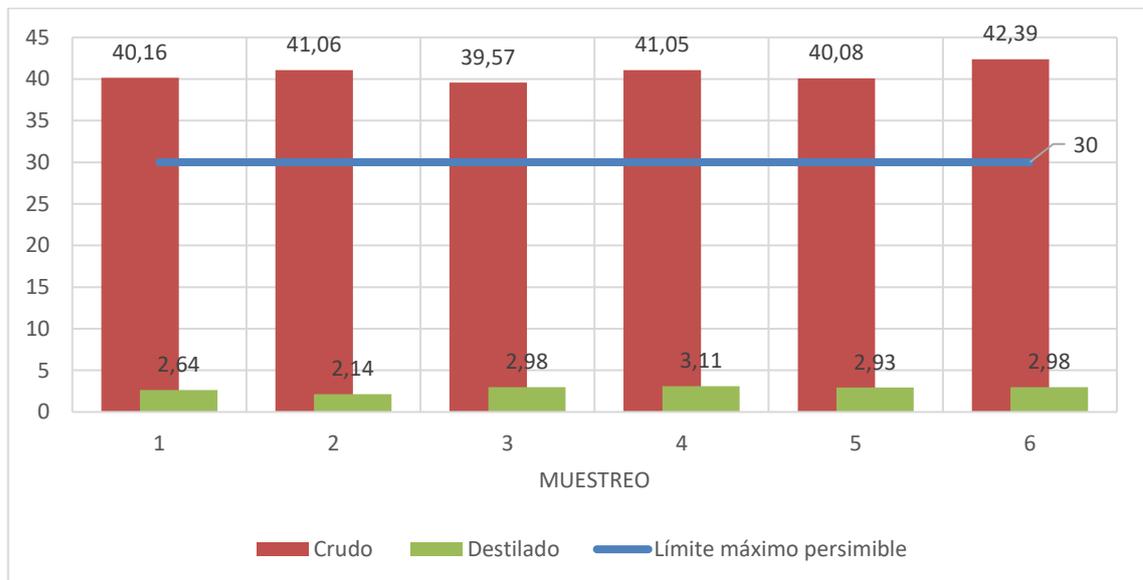
El porcentaje de remoción obtenido luego de la destilación del lixiviado para los aceites y grasas fue uno de los más altos logrando que el valor obtenido en los análisis realizados al lixiviado tratado se encuentre por debajo del límite máximo permisible que indica la norma TULSMA, cumpliendo con la misma. En la Tabla 4-2: Aceites y Grasas se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 4-9:** Aceites y grasas

Aceites y Grasas					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	30	40,16	2,64	93,426
	2	30	41,06	2,14	94,788
	3	30	39,57	2,98	92,469
	4	30	41,05	3,11	92,424
	5	30	40,08	2,93	92,690
	6	30	42,39	2,98	92,970
Total de Remoción					93,128

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

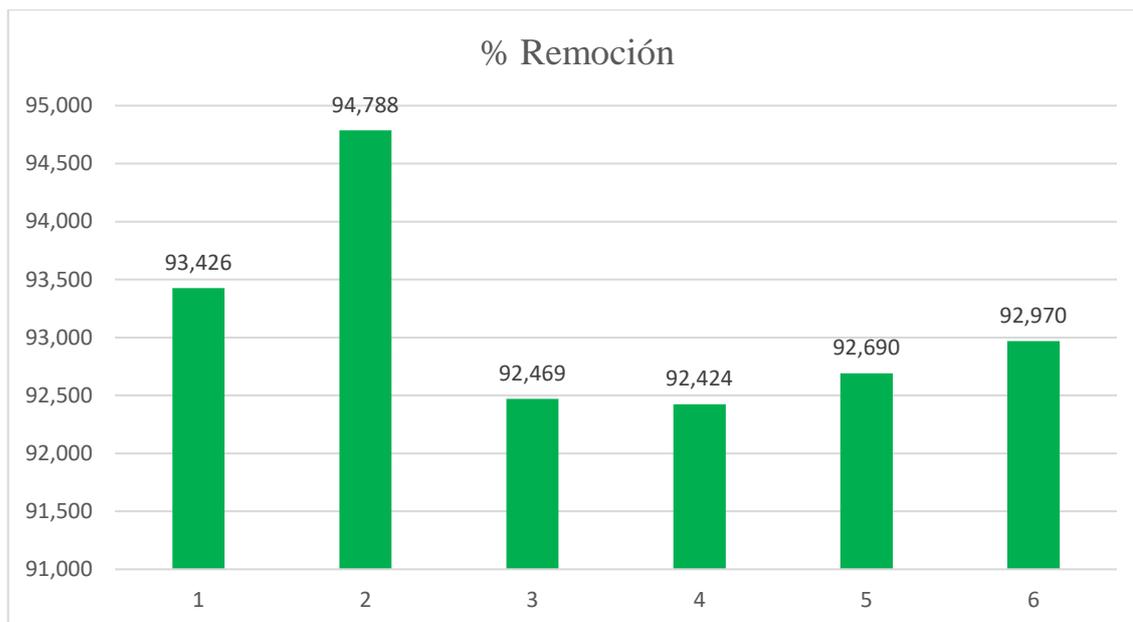
Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-3:** Resultados caracterización de aceites y grasas en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.

La Ilustración 4-3: Resultados caracterización de aceites y grasas en lixiviado crudo y destilado muestra el límite máximo permisible y los resultados de los análisis realizados al lixiviado crudo (barra roja) y del lixiviado tratado por la destilación (barra verde). La Ilustración 11-4: Remoción de Aceites y Grasas nos indica el valor del porcentaje de remoción que existió de aceites y grasas del lixiviado durante cada muestreo.



**Ilustración 4-4:** Remoción de aceites y grasas

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.2 Bario

Luego de la destilación solar, el porcentaje de remoción promedio obtenido de Bario fue del 80,091% en los análisis que se realizaron con el lixiviado tratado. En la Tabla 4-10: Bario se muestran los resultados obtenidos.

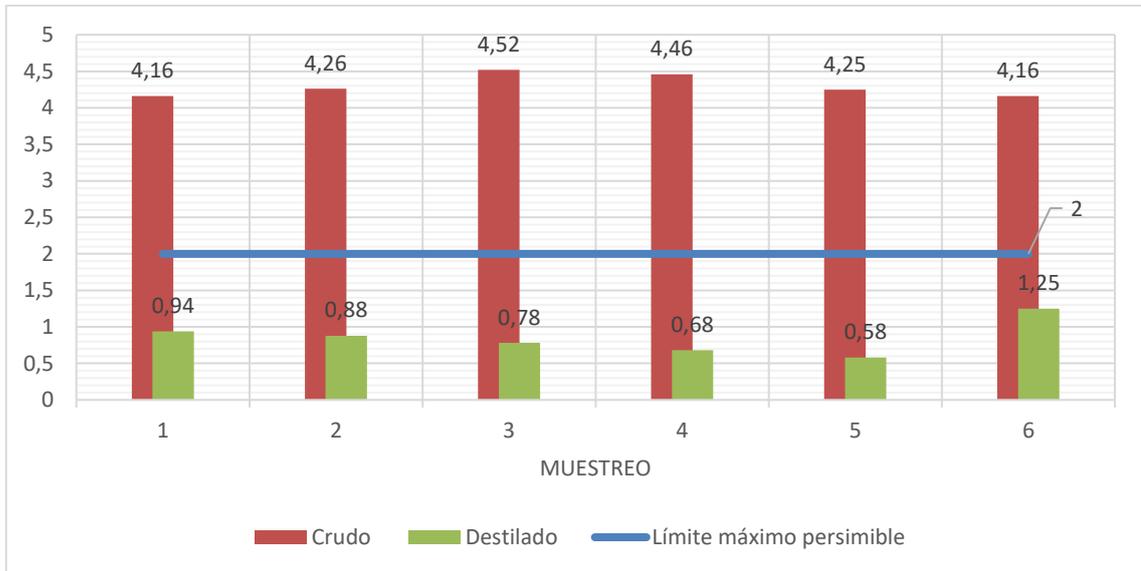
**Tabla 4-10:** Bario

Bario (Ba <sup>2+</sup> )					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	2	4,16	0,94	77,404
	2	2	4,26	0,88	79,343
	3	2	4,52	0,78	82,743
	4	2	4,46	0,68	84,753
	5	2	4,25	0,58	86,353
	6	2	4,16	1,25	69,952
Total de Remoción					80,091

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

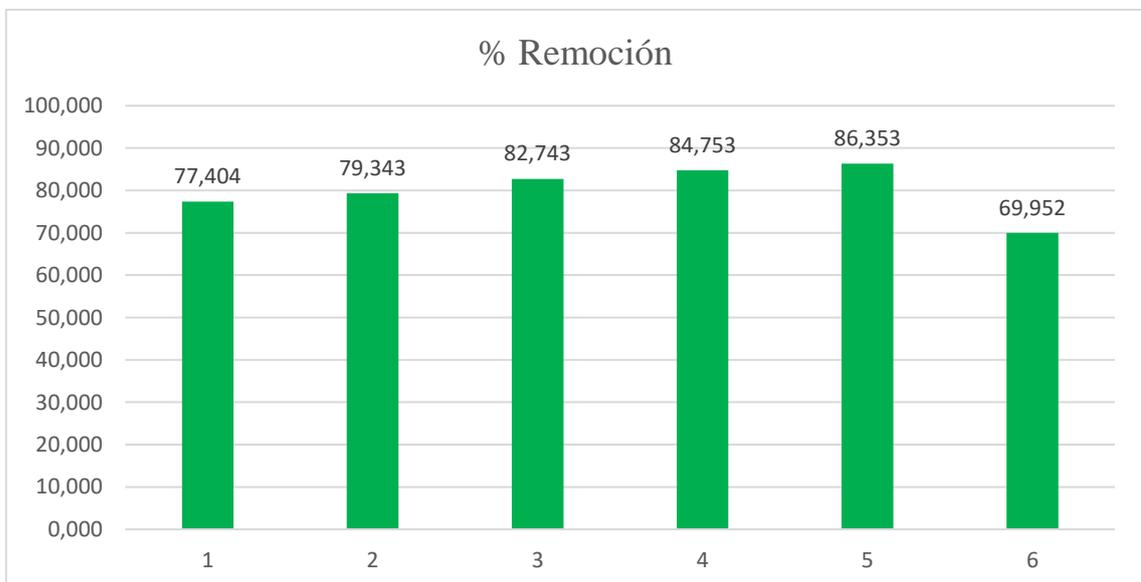
Realizado por: Quezada D., 2023.

La Ilustración 4-5: Resultados caracterización de  $Ba^{2+}$  en lixiviado crudo y destilado muestra el límite máximo permisible y los resultados de los análisis realizados al lixiviado crudo (barra roja) y del lixiviado tratado por la destilación (barra verde). La Ilustración 13-4: Remoción de  $Ba^{2+}$  nos indica el valor del porcentaje de remoción que existió de aceites y grasas del lixiviado durante cada muestreo.



**Ilustración 4-5:** Resultados caracterización de  $Ba^{2+}$  en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-6:** Remoción de  $Ba^{2+}$

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 4.1.3 Boro

La Tabla 4-11: Boro, nos indica el porcentaje de remoción promedio de Boro obtenido.

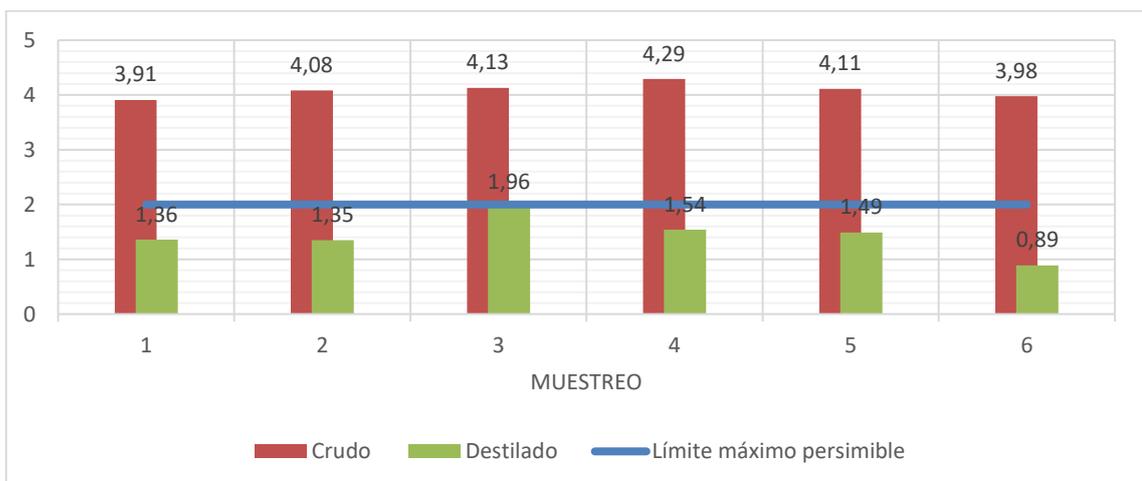
**Tabla 4-11:** Boro

Boro (B)					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	2	3,91	1,36	65,217
	2	2	4,08	1,35	66,912
	3	2	4,13	1,96	52,542
	4	2	4,29	1,54	64,103
	5	2	4,11	1,49	63,747
	6	2	3,98	0,89	77,638
Total de Remoción					65,027

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

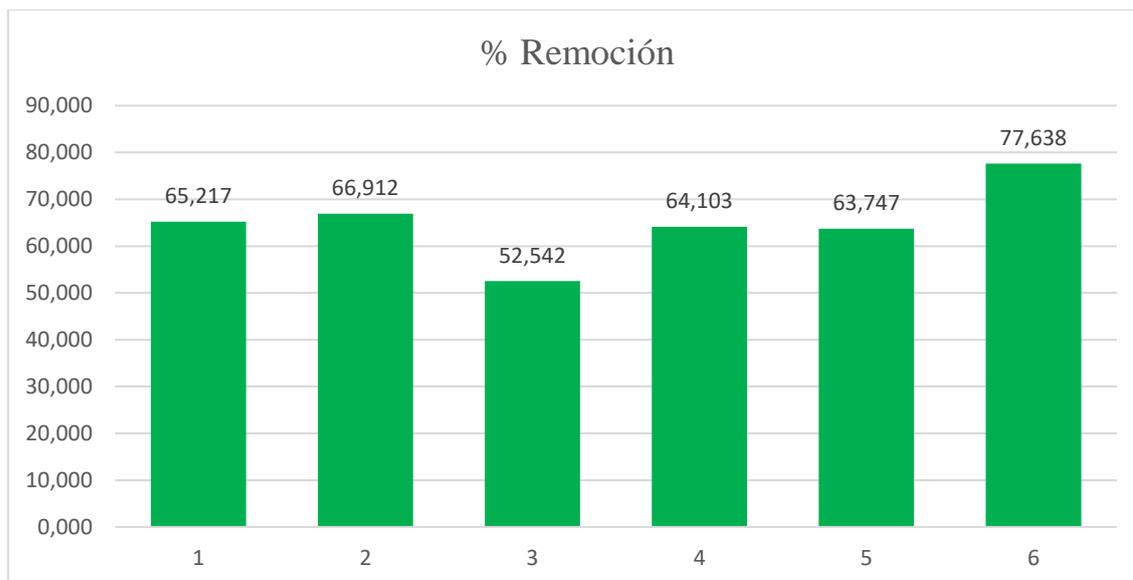
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-7: Resultados caracterización de B en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como el crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible. En la Ilustración 4-8: Remoción de B, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-7:** Resultados caracterización de B en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-8:** Remoción de B

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

#### 4.1.4 Cianuro

Luego de los análisis realizados en el laboratorio en la Tabla 4-12: Cianuro, se indica el porcentaje promedio de remoción de cianuro que se obtuvo, siendo este unos de los parámetros que se encuentran fuera del límite máximo permisible establecido con más remoción luego de la destilación solar.

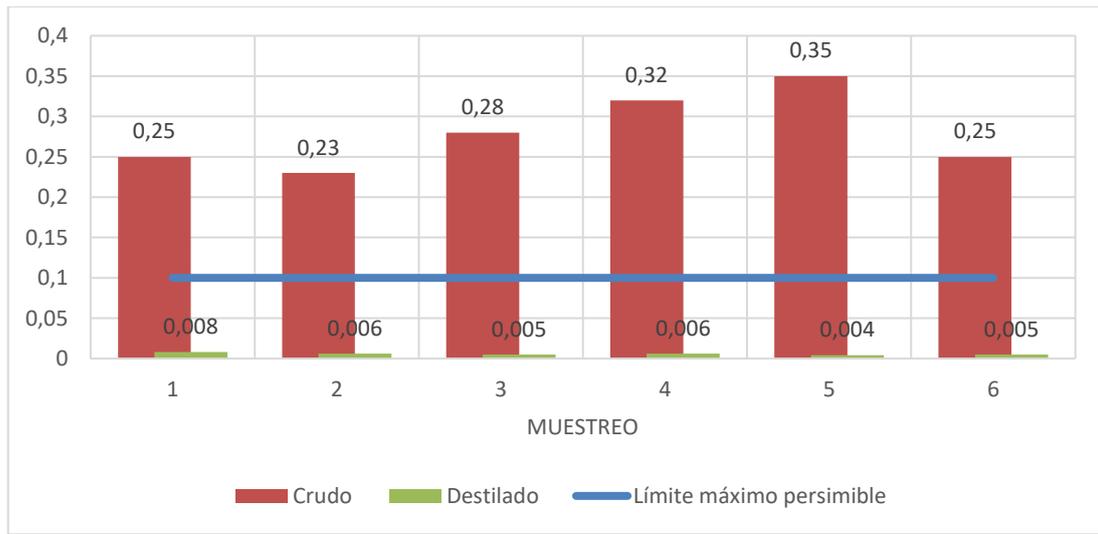
**Tabla 4-12:** Cianuro

Cianuro (CN <sup>-</sup> )					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	0,1	0,25	0,008	96,800
	2	0,1	0,23	0,006	97,391
	3	0,1	0,28	0,005	98,214
	4	0,1	0,32	0,006	98,125
	5	0,1	0,35	0,004	98,857
	6	0,1	0,25	0,005	98,000
Total de Remoción					97,898

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

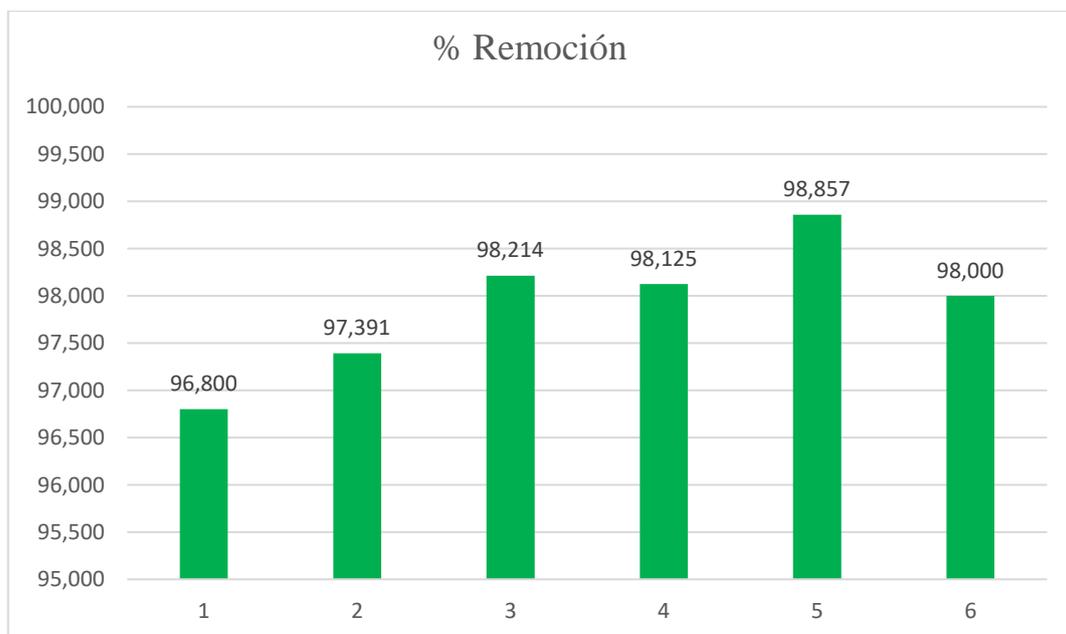
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-9: Resultados caracterización de  $\text{CN}^-$  en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como el crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que casi no existe presencia de cianuro en las muestras de lixiviado destilado. En la Ilustración 4-10: Remoción de  $\text{CN}^-$ , tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado, siendo estos unos de los más altos obtenidos en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-9:** Resultados caracterización de  $\text{CN}^-$  en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-10:** Remoción de  $\text{CN}^-$

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

#### 4.1.5 Color

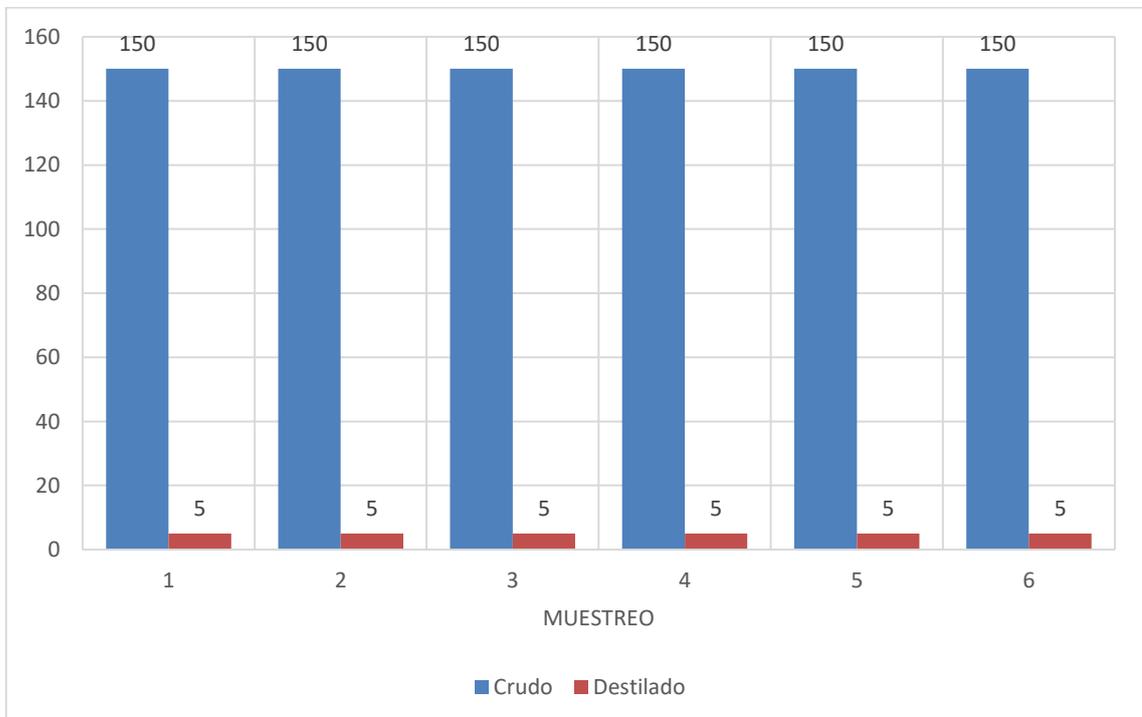
Este parámetro se mide en unidades de Platino-Cobalto. En la Tabla 4-13: Color se obtuvo una remoción promedio del 96,667%.

**Tabla 4-13:** Color

Color					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
PtCo	1	1./20	150	5	96,667
	2	1./20	150	5	96,667
	3	1./20	150	5	96,667
	4	1./20	150	5	96,667
	5	1./20	150	5	96,667
	6	1./20	150	5	96,667
Total de Remoción					96,667

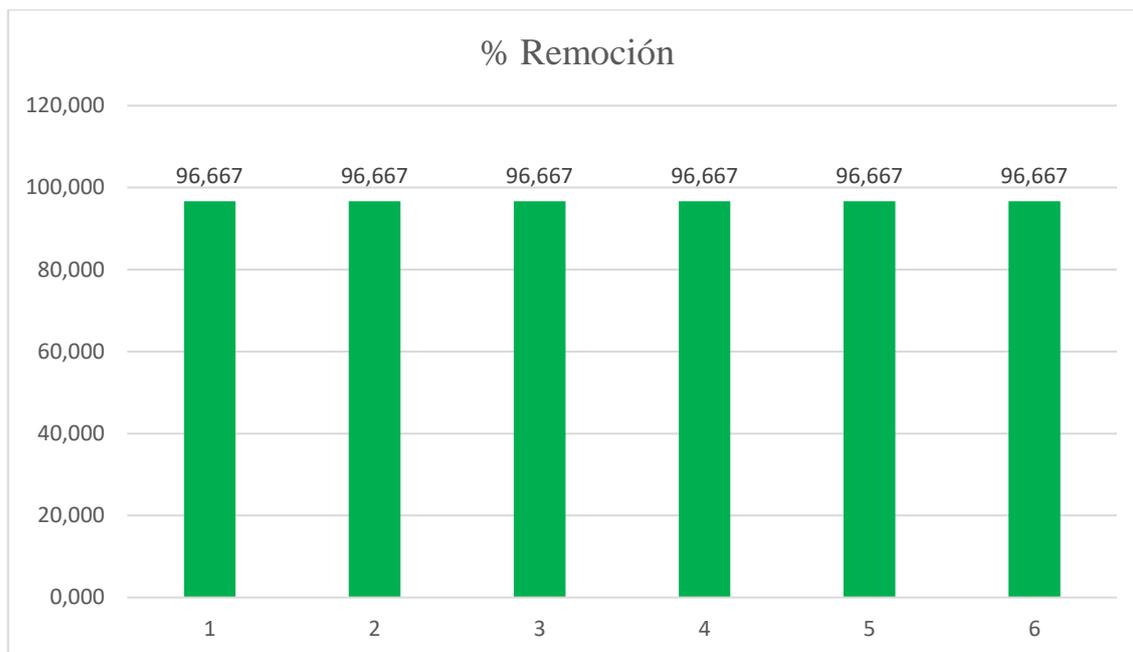
**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-11:** Resultados caracterización de color en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-12:** Disminución del color

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.6 Cromo

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al cromo se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron no existe mucha presencia de este, pero aun así se logró obtener un porcentaje de remoción promedio casi total llegando al 98,888%, como se indica en la Tabla 4-14: Cromo.

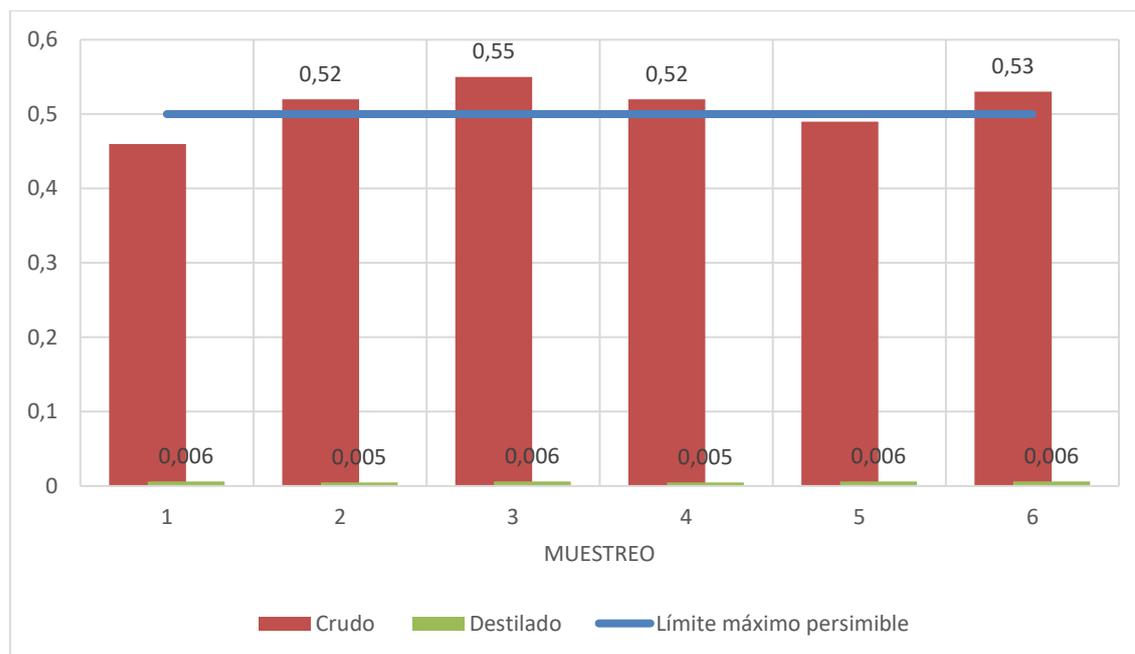
**Tabla 4-14:** Cromo

Cromo (Cr <sup>+6</sup> )					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	0,5	0,46	0,006	98,696
	2	0,5	0,52	0,005	99,038
	3	0,5	0,55	0,006	98,909
	4	0,5	0,52	0,005	99,038
	5	0,5	0,49	0,006	98,776
	6	0,5	0,53	0,006	98,868
Total de Remoción					98,888

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

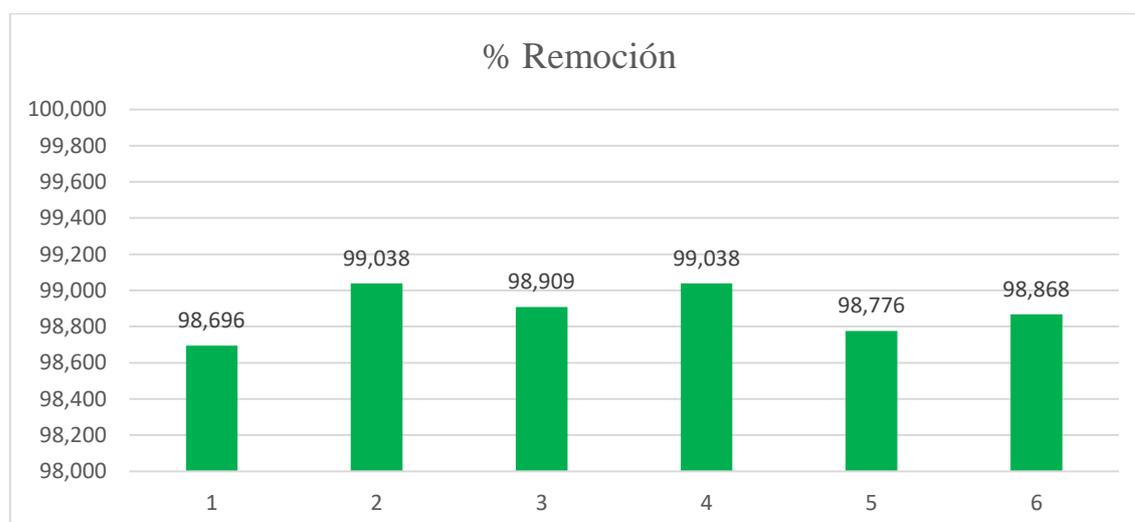
Realizado por: Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-13: Resultados caracterización de Cr<sup>+6</sup> en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados del lixiviado crudo excede en ciertas muestras el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que casi no existe presencia de cromo en las muestras de lixiviado destilado. En la Ilustración 4-14: Remoción de Cr<sup>+6</sup>, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado, siendo estos unos de los más altos obtenidos en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-13:** Resultados caracterización de Cr<sup>+6</sup> en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-14:** Remoción de Cr<sup>+6</sup>

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.7 Demanda química de oxígeno

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde a la demanda química de oxígeno es uno de los más importantes a considerar y tratar. Luego de la destilación solar del lixiviado se pudo evidenciar que en las muestras tratadas ya no existe mucha presencia de este, logrando obtener un porcentaje de remoción promedio casi del 100% llegando al 99,316%, como se indica en la Tabla 4-15: DQO.

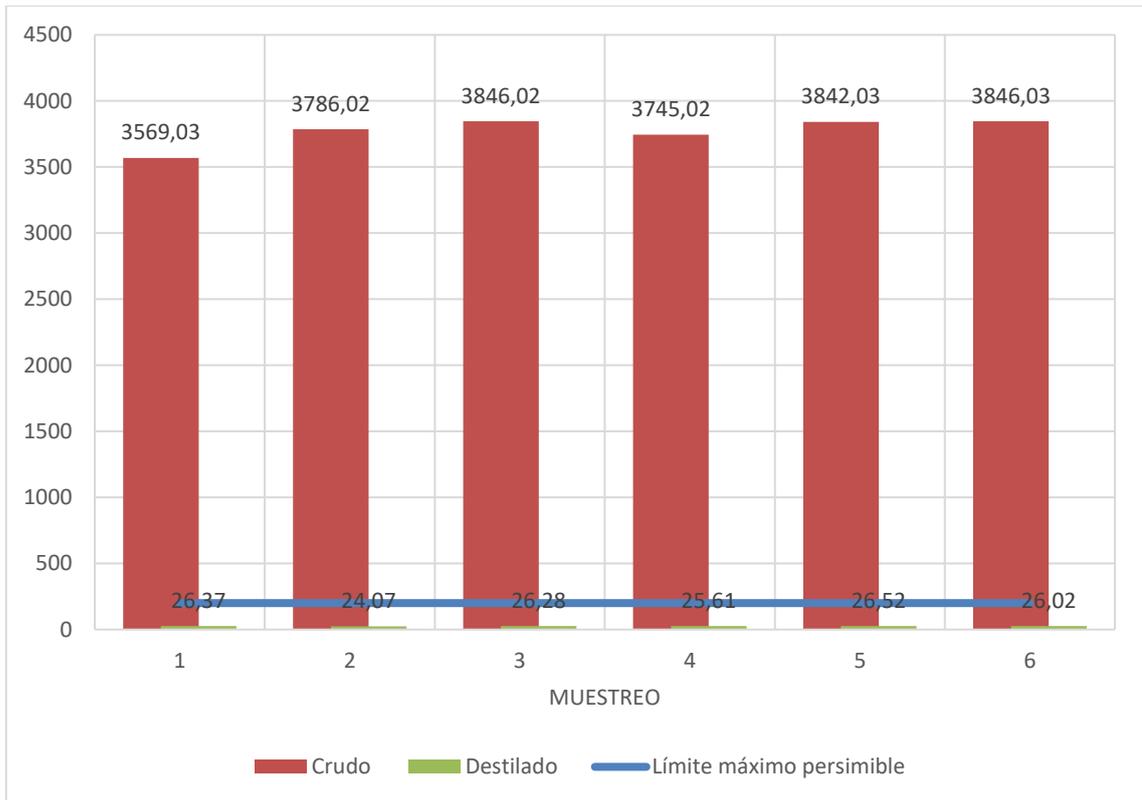
**Tabla 4-15: DQO**

DQO					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	200	3569,03	26,37	99,261
	2	200	3786,02	24,07	99,364
	3	200	3846,02	26,28	99,317
	4	200	3745,02	25,61	99,316
	5	200	3842,03	26,52	99,310
	6	200	3846,03	26,02	99,323
Total de Remoción					99,315

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

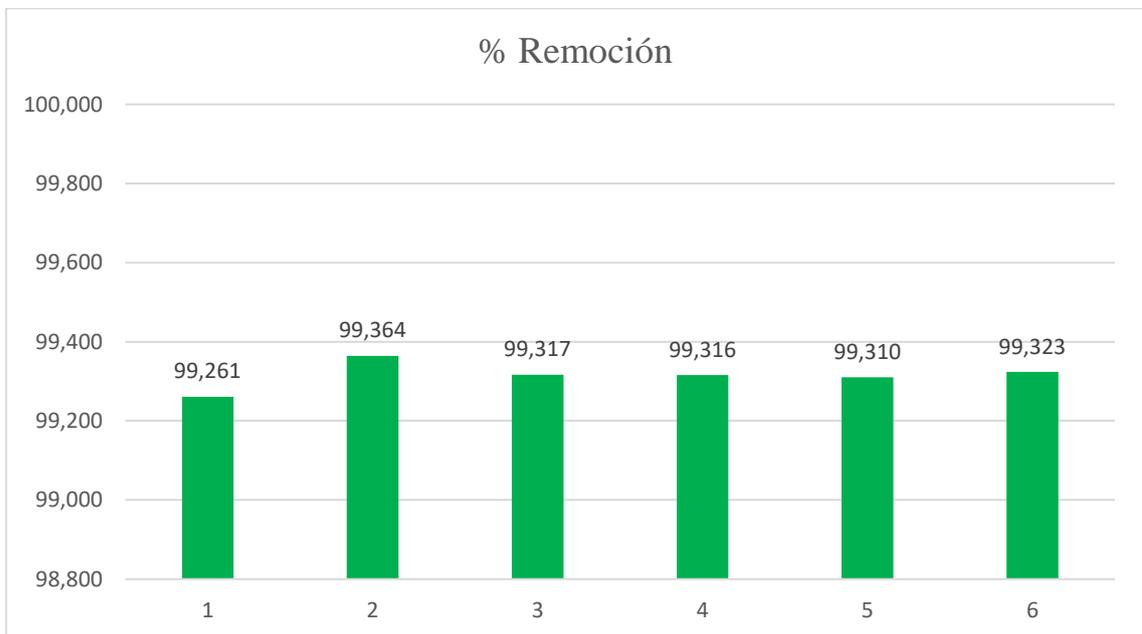
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-15: Resultados caracterización de DQO en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo exceden por mucho el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que casi no existe demanda química de oxígeno en las muestras de lixiviado destilado. En la Ilustración 4-16: Remoción de DQO, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado, siendo estos unos de los más altos obtenidos en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-15:** Resultados caracterización de DQO en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-16:** Remoción de DQO

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.8 Demanda biológica de oxígeno

Igual que los análisis de la demanda química de oxígeno, en el parámetro que corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno es uno de los más importantes a considerar y tratar. Luego de la destilación solar del lixiviado se pudo evidenciar que en las muestras tratadas ya no existe mucha demanda de este, logrando obtener un porcentaje de remoción promedio casi del 100% llegando al 99,274%, como se indica en la Tabla 22-4: DBO<sub>5</sub>.

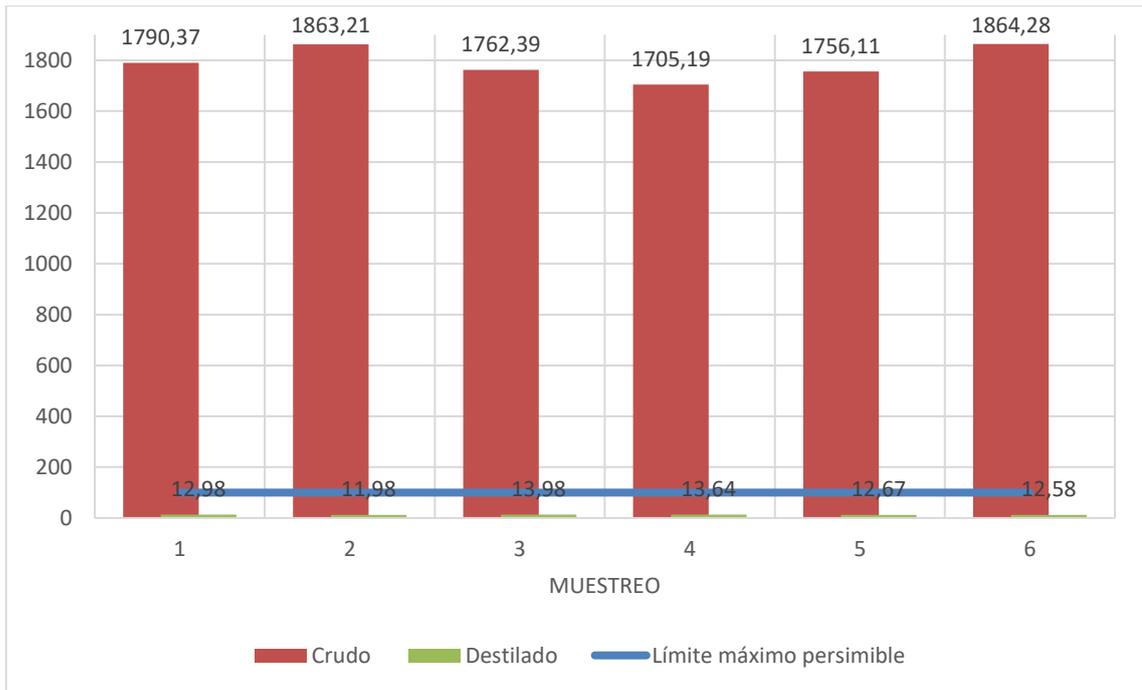
**Tabla 4-16:** DBO<sub>5</sub>

DBO <sub>5</sub>					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	100	1790,37	12,98	99,275
	2	100	1863,21	11,98	99,357
	3	100	1762,39	13,98	99,207
	4	100	1705,19	13,64	99,200
	5	100	1756,11	12,67	99,279
	6	100	1864,28	12,58	99,325
Total de Remoción					99,274

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-17: Resultados caracterización de DBO<sub>5</sub> en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo exceden por casi 1000 veces el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que casi no existe demanda bioquímica de oxígeno. En la Ilustración 4-18: Remoción de DBO<sub>5</sub>, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado, siendo estos unos de los más altos obtenidos en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-17:** Resultados caracterización de DBO<sub>5</sub> en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-18:** Remoción de DBO<sub>5</sub>

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.9 *Escherichia Coli*

Este parámetro es medido por unidades de colonias formadas en cada 100ml, obtenido un porcentaje de remoción total de las colonias formadas en el lixiviado crudo. Tal como se muestra en la Tabla 4-17: *Escherichia Coli*.

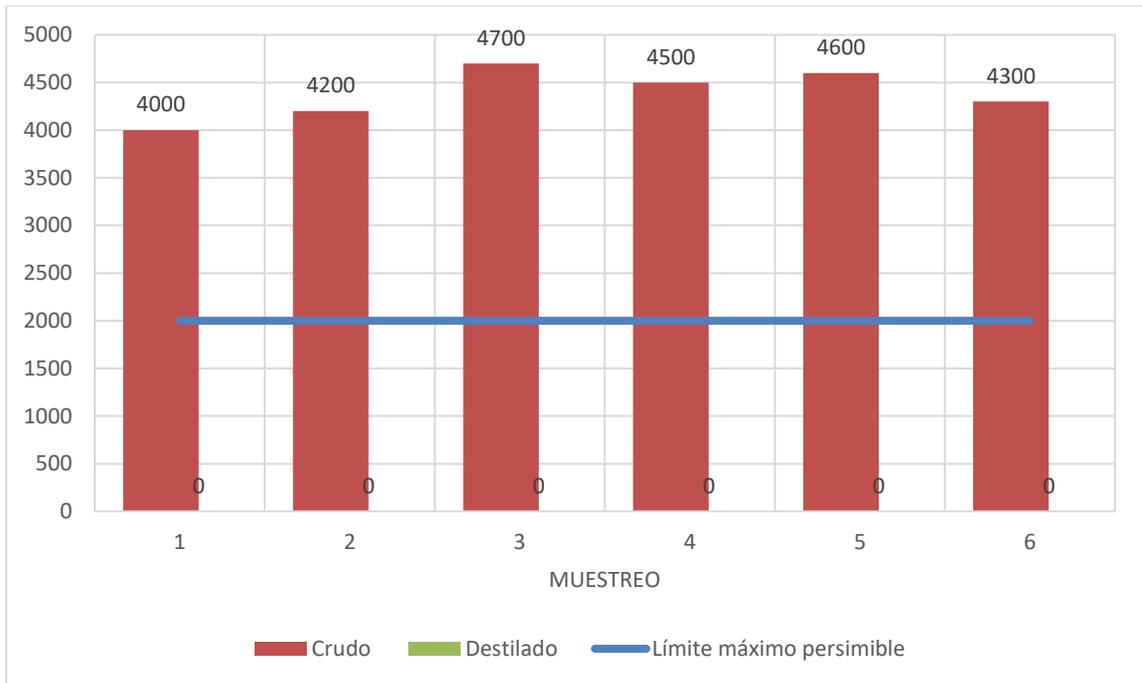
**Tabla 4-17:** *Escherichia coli*

<b>Escherichia Coli</b>					
<b>Límite máximo permisible</b>	<b>Muestreo</b>	<b>Límite máximo permisible</b>	<b>Crudo</b>	<b>Destilado</b>	<b>% Remoción</b>
Col/100ml	1	2000	4000	0	100,000
	2	2000	4200	0	100,000
	3	2000	4700	0	100,000
	4	2000	4500	0	100,000
	5	2000	4600	0	100,000
	6	2000	4300	0	100,000
<b>Total de Remoción</b>					<b>100,000</b>

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

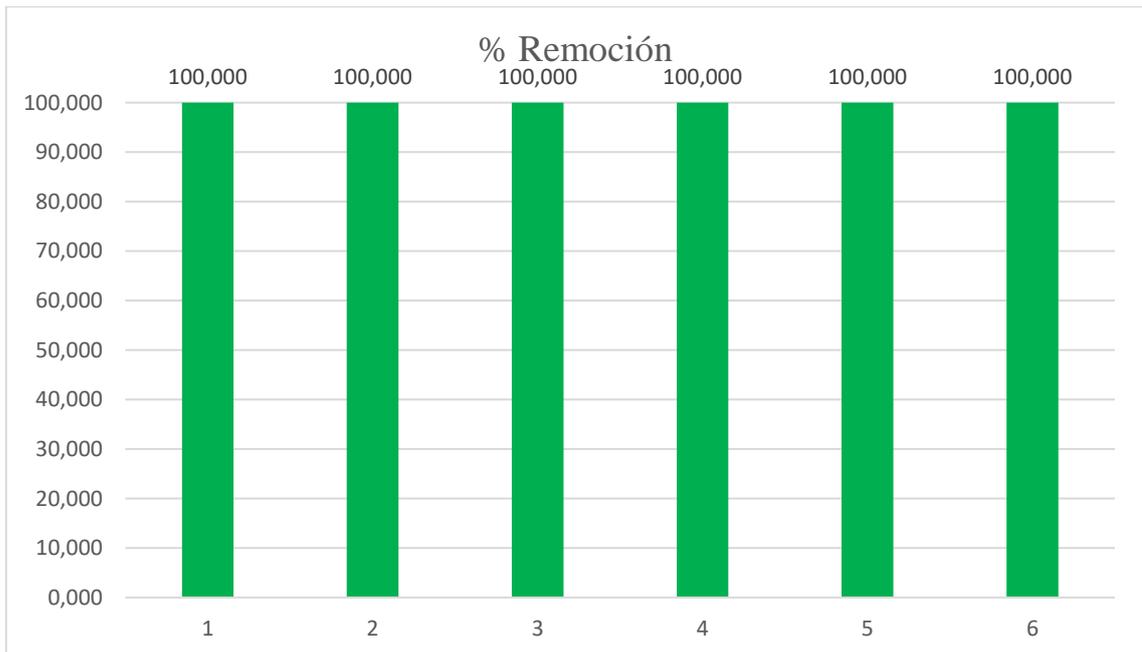
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-19: Resultados caracterización de *Escherichia Coli* en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo exceden por casi el doble al límite máximo permisible y el lixiviado destilado se encuentra sin presencia de colonias formadas encontrándose por debajo del límite máximo permisible. En la Ilustración 4-20: Remoción de *Escherichia Coli*, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado, siendo estos el parámetro donde se obtuvo una remoción completa en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-19:** Resultados caracterización de eschericha coli en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-20:** Remoción de eschericha coli

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.10 *Floruros*

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al flúor se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia de este, pero aun así se logró obtener

un porcentaje de remoción promedio que llego al 88,923%, como se indica en la Tabla 24-4: Floruros.

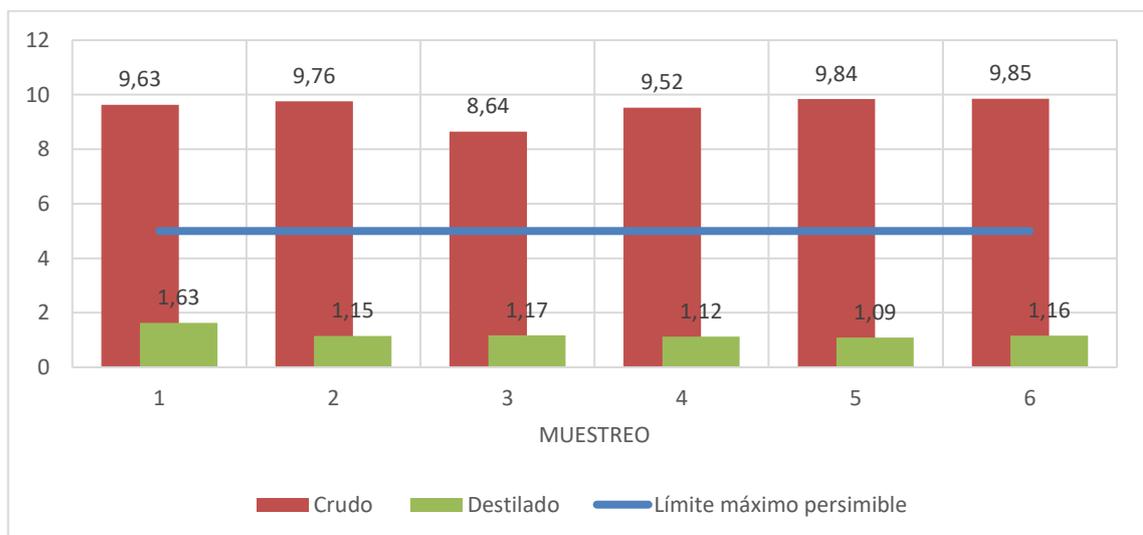
**Tabla 4-18:** Floruros

Floruros (F)					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	5	9,63	1,63	83,074
	2	5	9,76	1,15	88,217
	3	5	8,64	1,17	86,458
	4	5	9,52	1,12	88,235
	5	5	9,84	1,09	88,923
	6	5	9,85	1,16	88,223
Total de Remoción					87,188

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

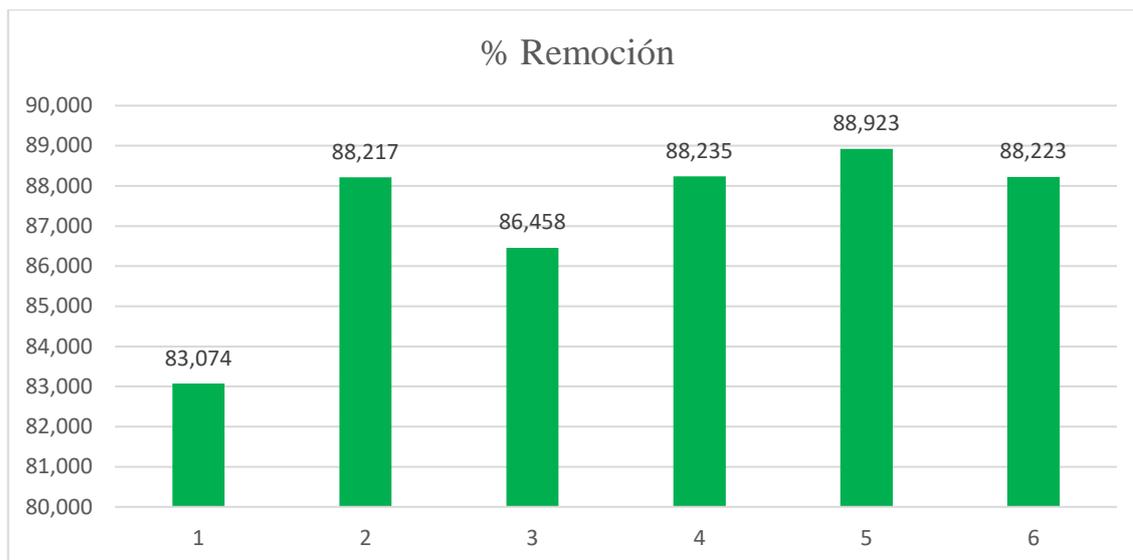
Realizado por: Quezada D., 2023.

En la Ilustracion 4-21: Resultados caracterización de F en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que los resultados se encuentran dentro de lo establecido. En la Ilustración 4-22: Remoción de F, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-21:** Resultados caracterización de F en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-22:** Remoción de F

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.11 Fósforo total

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al fósforo total se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia del mismo, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 88,637%, como se indica en la Tabla 4-19: Fósforo Total.

**Tabla 4-19:** Fósforo total

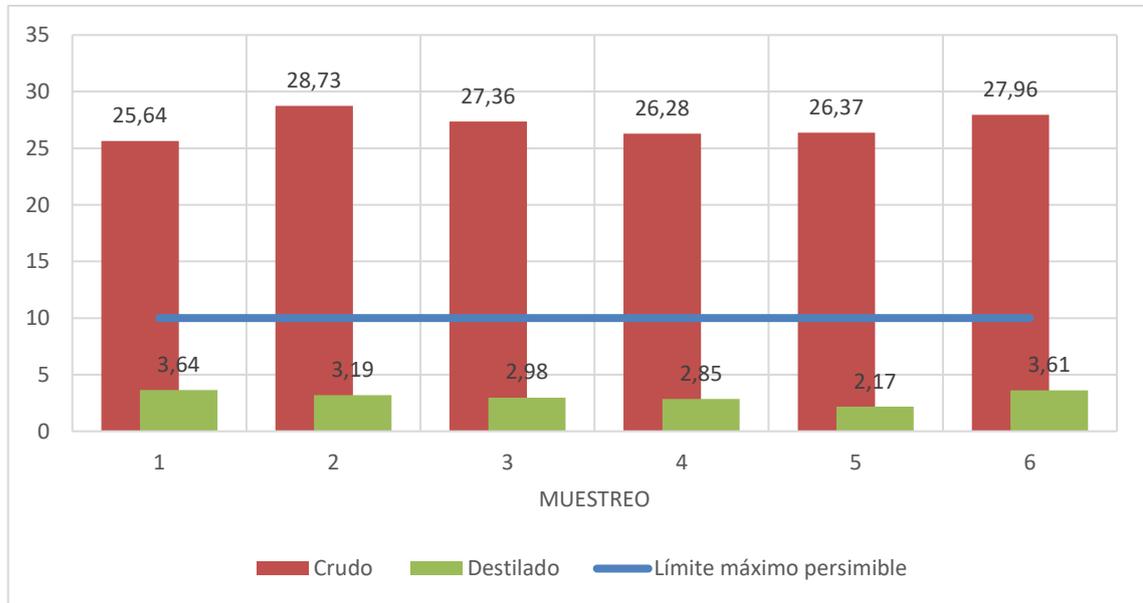
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	10	25,64	3,64	85,803
	2	10	28,73	3,19	88,897
	3	10	27,36	2,98	89,108
	4	10	26,28	2,85	89,155
	5	10	26,37	2,17	91,771
	6	10	27,96	3,61	87,089
Total de Remoción					88,637

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

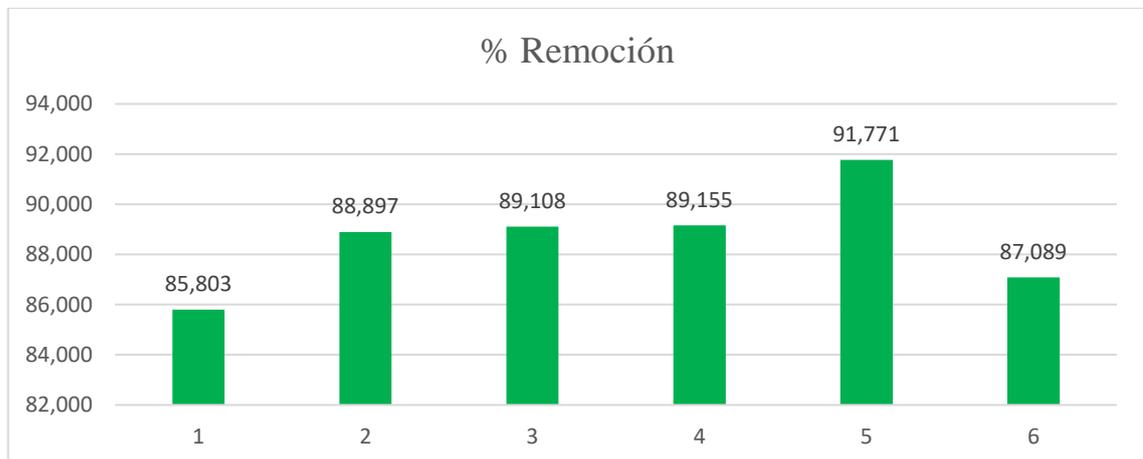
En la Ilustración 4-23: Resultados caracterización de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se

observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que los resultados se encuentran dentro de lo establecido en el TULSMA. En la Ilustración 4-24: Remoción de  $P-PO_4^{3-}$ , tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-23:** Resultados caracterización de  $P-PO_4^{3-}$  en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-24:** Remoción de  $P-PO_4^{3-}$

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.12 Hierro total

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al hierro total se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia del mismo, pero luego del

tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 78,125%, como se indica en la Tabla 4-20: Hierro Total.

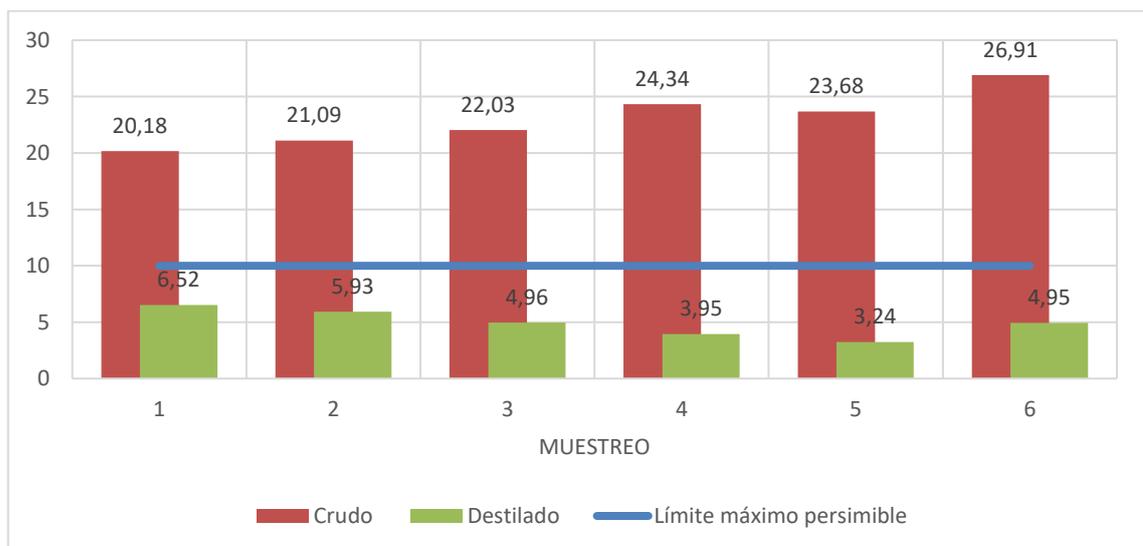
**Tabla 4-20:** Hierro total

Hierro Total (Fe)					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	10	20,18	6,52	67,691
	2	10	21,09	5,93	71,882
	3	10	22,03	4,96	77,485
	4	10	24,34	3,95	83,772
	5	10	23,68	3,24	86,318
	6	10	26,91	4,95	81,605
Total de Remoción					78,125

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

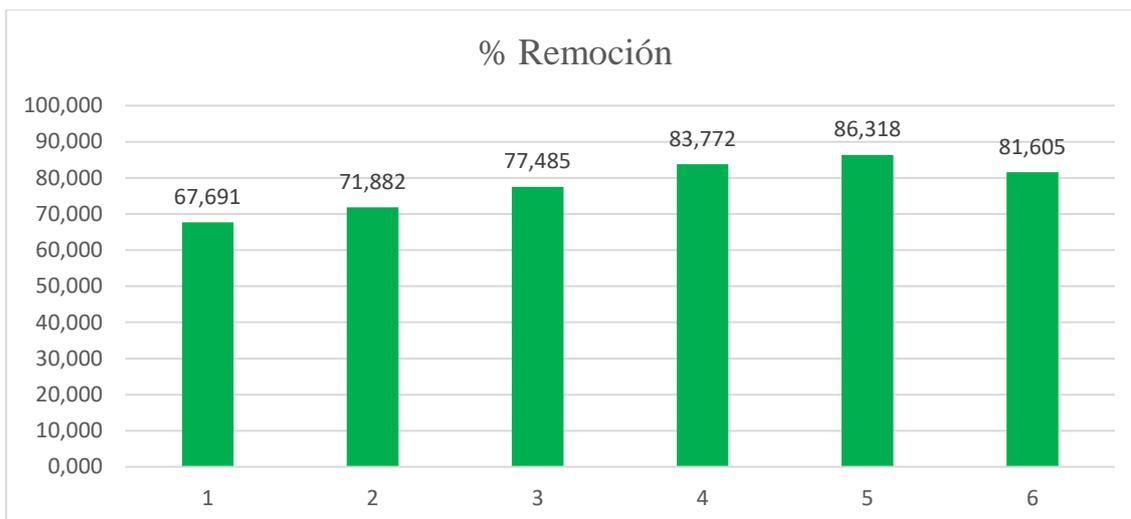
Realizado por: Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-25: Resultados caracterización de Fe en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que los resultados se encuentran dentro de lo establecido en el TULSMA. En la Ilustración 4-26: Remoción de Fe, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-25:** Resultados caracterización de Fe en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-26:** Remoción de Fe

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.13 Manganeso total

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al manganeso total se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia del mismo, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 45,484%, como se indica en la Tabla 4-21: Manganeso Total.

**Tabla 4-21:** Manganeso total

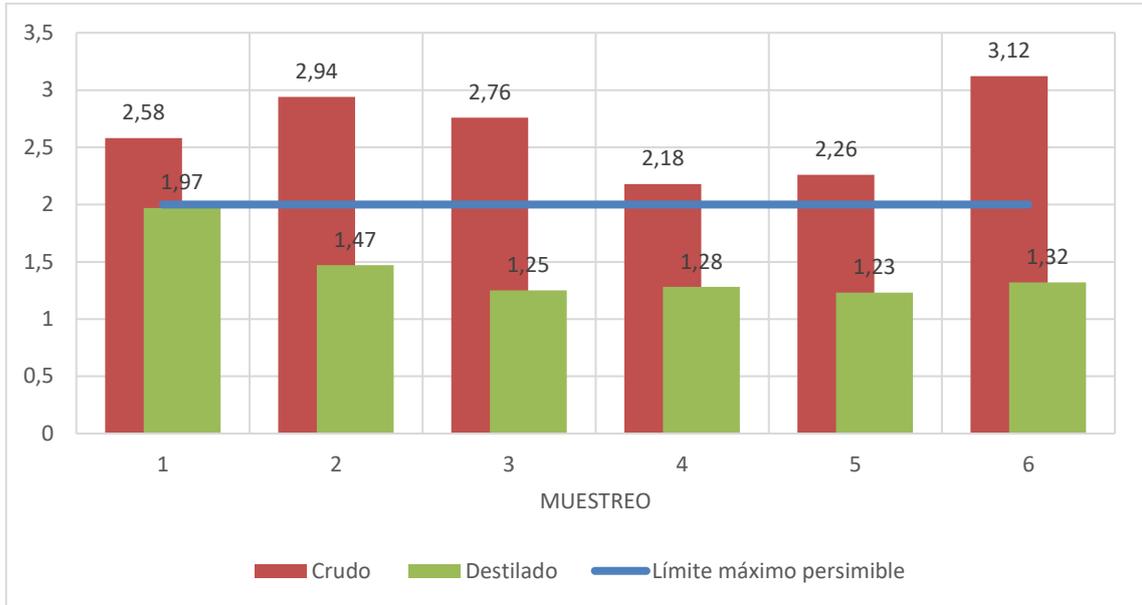
Manganeso Total (Mn <sup>2+</sup> )					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	2	2,58	1,97	23,643
	2	2	2,94	1,47	50,000
	3	2	2,76	1,25	54,710
	4	2	2,18	1,28	41,284
	5	2	2,26	1,23	45,575
	6	2	3,12	1,32	57,692
Total de Remoción					45,484

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

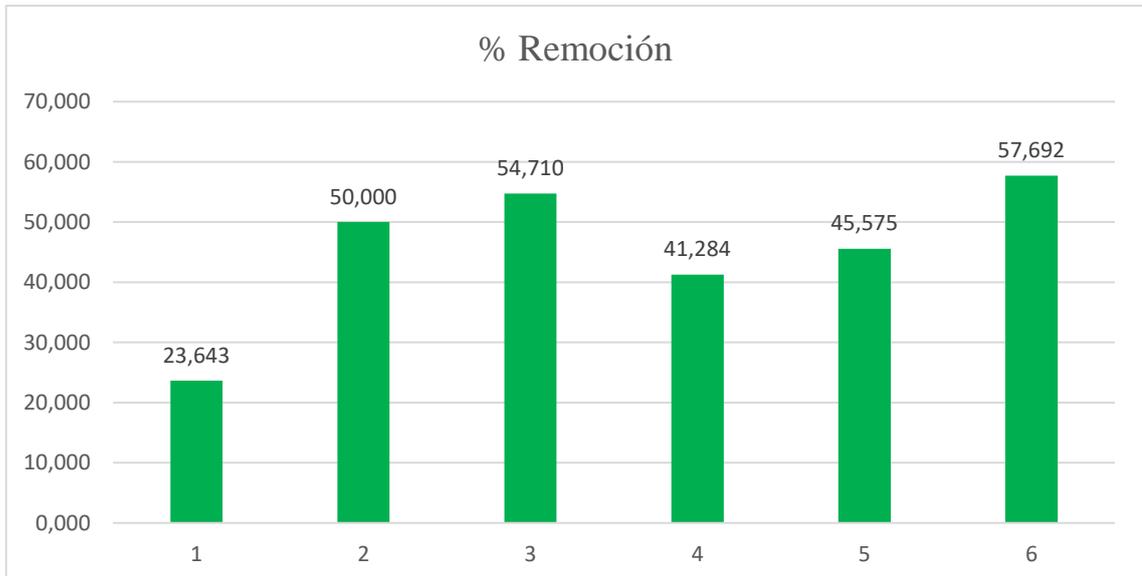
En la Ilustración 4-27: Resultados caracterización de Fe en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados tanto al lixiviado crudo y destilado, se observa

como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se encuentra por debajo del límite máximo permisible, observando que los resultados se encuentran dentro de lo establecido en el TULSMA. En la Ilustración 35-4: Remoción de Fe, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado llegando a casi un 50% de remoción en cada uno a excepción del primer muestreo.



**Ilustración 4-27:** Resultados caracterización de Mn<sup>2+</sup> en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-28:** Remoción de Mn<sup>2+</sup>

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.14 Nitrógeno total kjedahl

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al nitrógeno total Kjedahl, mismo que representa al nitrógeno que es capaz de ser nitrificado en nitratos, nitritos y luego desnitrificado a nitrógeno gaseoso, se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia del mismo, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 60,944%, como se indica en la Tabla 4-22: Nitrógeno Total Kjedahl.

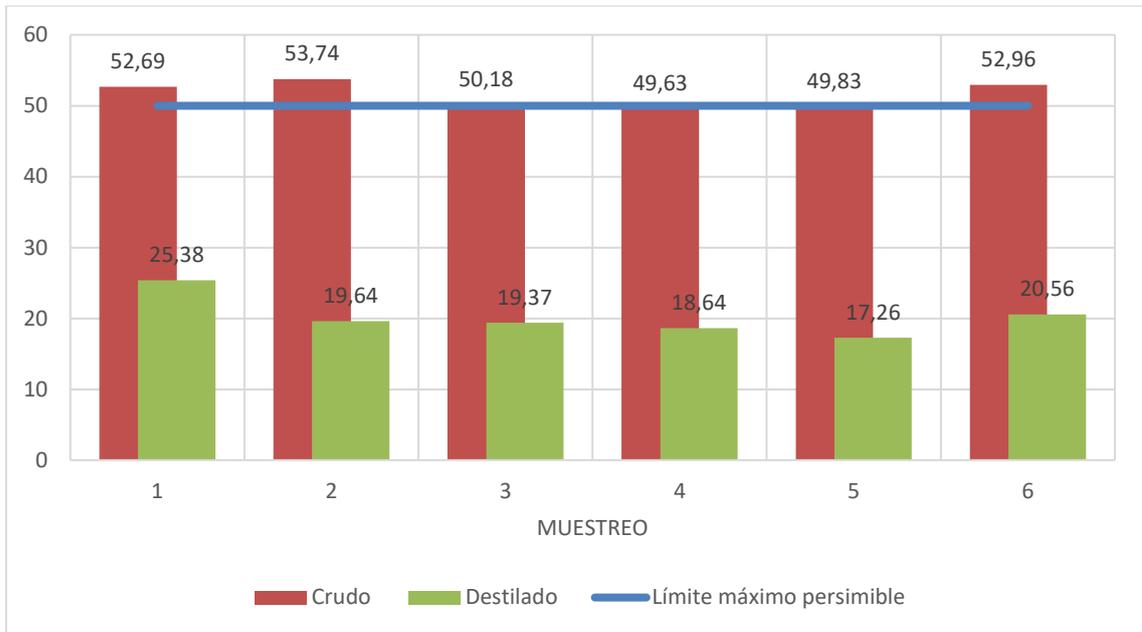
**Tabla 4-22:** Nitrógeno total kjedahl

Nitrógeno Total Kjedahl					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	50	52,69	25,38	51,831
	2	50	53,74	19,64	63,454
	3	50	50,18	19,37	61,399
	4	50	49,63	18,64	62,442
	5	50	49,83	17,26	65,362
	6	50	52,96	20,56	61,178
Total de Remoción					60,944

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

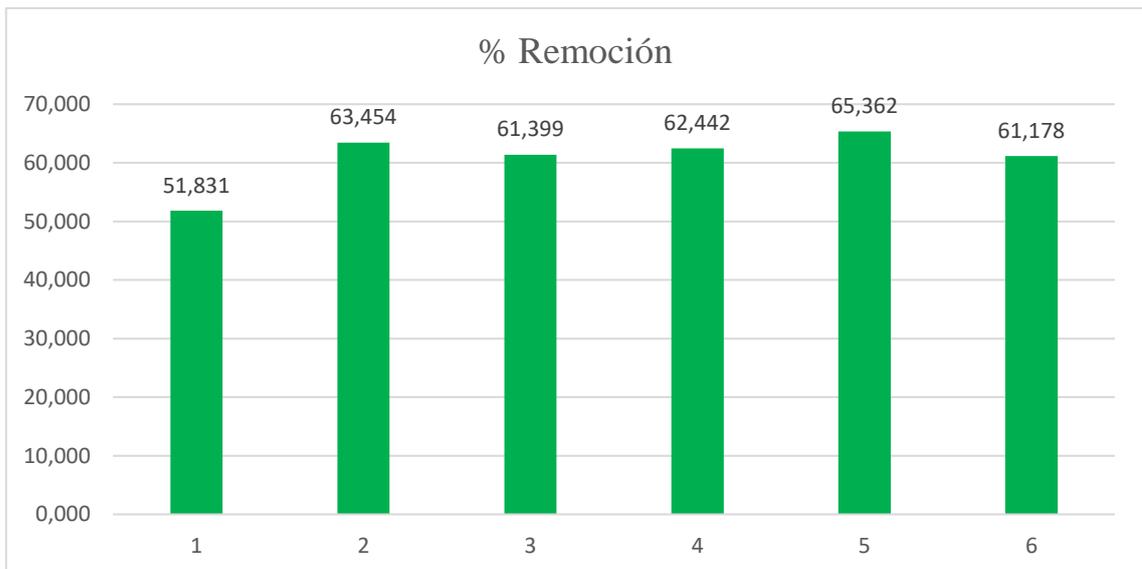
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-29: Resultados caracterización de Nitrógeno Total kjedahl en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se observo que los resultados se encuentran dentro de lo establecido. En la Ilustración 37-4: Remoción de Nitrógeno Total kjedahl, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-29:** Resultados caracterización de nitrógeno total kjedahl en lixiviado crudo y destilado

Realizado por: Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-30:** Remoción nitrógeno total kjedahl

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.15 Oxígeno disuelto

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde al oxígeno disuelto, se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron no existe mucha presencia del mismo, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de aumento promedio que llegó al 87,868%, como se indica en la Tabla 4-23: Oxígeno Disuelto

**Tabla 4-23:** Oxígeno disuelto

Oxígeno Disuelto (OD)					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Aumento
mg/L	1	...	0,25	4,68	94,658
	2	...	0,31	2,94	89,456
	3	...	0,34	2,17	84,332
	4	...	0,35	2,25	84,444
	5	...	0,38	2,11	81,991
	6	...	0,28	3,65	92,329
Total de Remoción					87,868

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

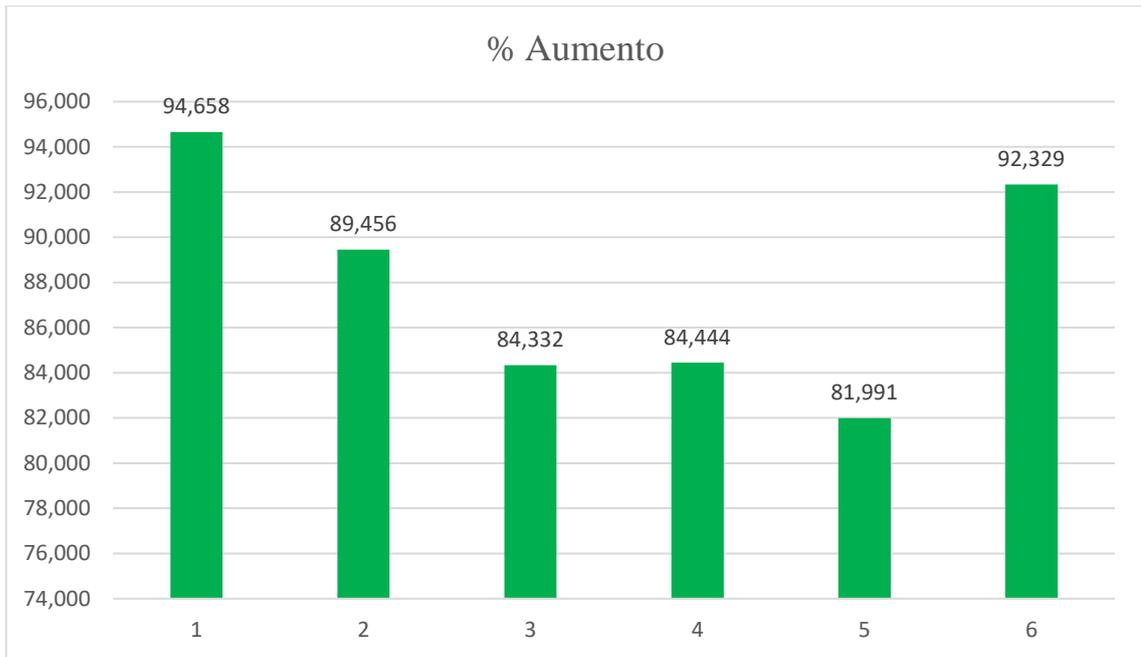
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-31: Resultados caracterización de OD en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo no existe mucha presencia de este y el destilado se observo que en los resultados obtenidos se logro aumentar la cantidad de oxígeno disuelto, mejorando la calidad del agua destilado que se obtuvo durante el tratamiento del lixiviado. En la Ilustración 4-32: Remoción de OD, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-31:** Resultados caracterización de OD en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-32:** Aumento del OD

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.1.16 Sólidos totales disueltos

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde a los sólidos totales disueltos, se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia de estos, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 77,732%, como se indica en la Tabla 4-24: Sólidos Totales Disueltos

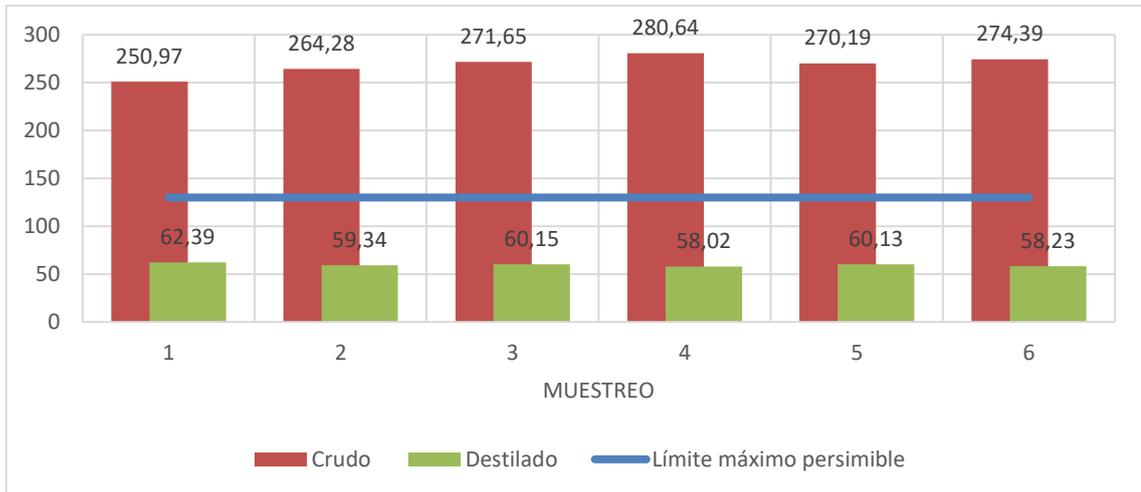
**Tabla 4-24:** Sólidos totales disueltos

Sólidos Totales Disueltos (SST)					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	130	250,97	62,39	75,140
	2	130	264,28	59,34	77,547
	3	130	271,65	60,15	77,858
	4	130	280,64	58,02	79,326
	5	130	270,19	60,13	77,745
	6	130	274,39	58,23	78,778
Total de Remoción					77,732

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

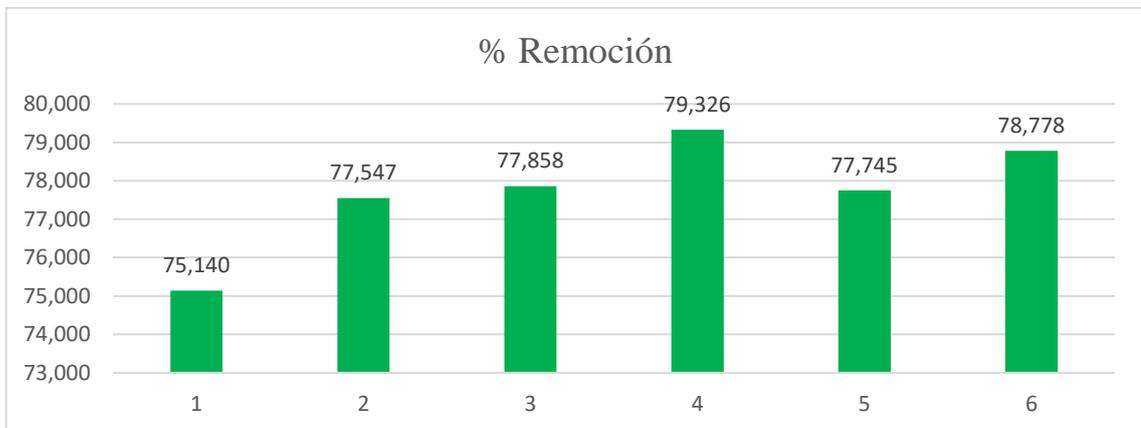
Realizado por: Quezada D., 2023.

En la Ilustración 40-4: Resultados caracterización de SST en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede el límite máximo permisible y el destilado se observó que los resultados se encuentran dentro de lo establecido. En la Ilustración 4-33: Remoción de SST, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado.



**Ilustración 4-33:** Resultados caracterización de SST en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-34:** Remoción de SST

**Realizado por:** Quezada D., 2023.

#### 4.1.17 *Tensoactivos*

En los resultados de los análisis, en el parámetro que corresponde a los tensoactivos, se pudo evidenciar que en las muestras de lixiviado que se tomaron existe presencia de estos, pero luego del tratamiento se logró obtener un porcentaje de remoción promedio que llegó al 93,332%, como se indica en la Tabla 4-25: Tensoactivos

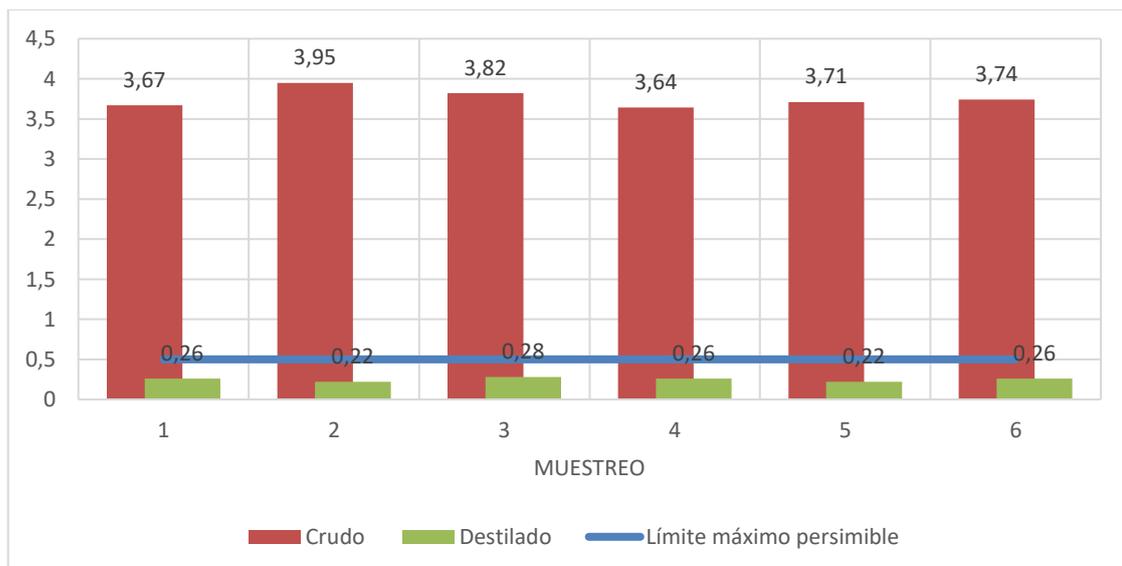
**Tabla 4-25:** Tensoactivos

Tensoactivos					
Límite máximo permisible	Muestreo	Límite máximo permisible	Crudo	Destilado	% Remoción
mg/L	1	0,5	3,67	0,26	92,916
	2	0,5	3,95	0,22	94,430
	3	0,5	3,82	0,28	92,670
	4	0,5	3,64	0,26	92,857
	5	0,5	3,71	0,22	94,070
	6	0,5	3,74	0,26	93,048
Total de Remoción					93,332

**Fuente:** Cálculo de dimensionamiento, 2023.

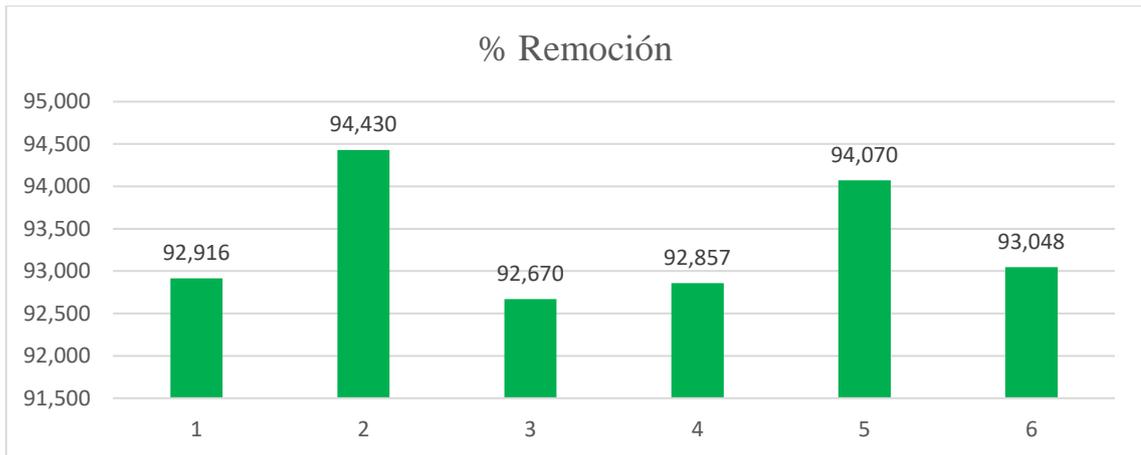
**Realizado por:** Quezada D., 2023.

En la Ilustración 4-35: Resultados caracterización de tensoactivos en lixiviado crudo y destilado, podemos observar cómo luego de los análisis realizados, se observa como los resultados de las muestras de lixiviado crudo excede en casi tres veces al límite máximo permisible y el destilado se observo que los resultados se encuentran dentro de lo establecido. En la Ilustración 4-36: Remoción de tensoactivos, tenemos los resultados del porcentaje de remoción que existen en cada muestreo realizado siendo estos unos de los mas altos de los parametros analizados durante el tratamieno del lixiviado.



**Ilustración 4-35:** Resultados caracterización de tensoactivos en lixiviado crudo y destilado

**Realizado por:** Quezada D., 2023.



**Ilustración 4-36:** Remoción de tensoactivos

Realizado por: Quezada D., 2023.

## 4.2 Dimensionamiento de la planta de tratamiento

### 4.2.1 Tanque de acumulación

**Tabla 4-26:** Dimensiones tanque de acumulación

Variables de Diseño	Valor
Caudal de Lixiviado generado	$6,94 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$
Tiempo de llenado	15 días
Largo	6m
Ancho	1m
Profundidad	1,5m
Área	$6m^2$
Volumen	$9m^3$

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 4.2.2 Destilador solar

#### 4.2.2.1 Bandeja recolectora

**Tabla 4-27:** Dimensiones destilador solar - bandeja recolectora

Variables de Diseño	Valor
Largo	4,24m
Ancho	1,41m
Altura	0,5m

Área	$6m^2$
Volumen	$3m^3$

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.2.2 Estructura de soporte

**Tabla 4-28:** Dimensiones destilador solar - estructura de soporte

VARIABLES DE DISEÑO	VALOR
Largo	4,34m
Ancho	1,61m
Altura	0,55m
Área	6,98m <sup>2</sup>

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.2.3 Cubierta del destilador

**Tabla 4-29:** Dimensiones destilador solar - cubierta del destilador

VARIABLES DE DISEÑO	VALOR
Largo	4,34m
Ancho del vidrio de la cubierta lateral	1,61m
Ancho del vidrio inclinado	0,930m
Angulo de inclinación del vidrio	30°
Área	6,7m <sup>2</sup>
Espesor	0,004m

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.2.4 Radiación solar mensual

**Tabla 4-30:** Valores mensuales del ángulo horario y declinación solar

Mes	n	Heliofanía (mensual)	Heliofanía (Diaria)	Ángulo	ws	A	B
Enero	17	148,1	4,78	23,45	89,309	0,98	0,89
Febrero	47	91,7	3,28	-6,026	90,168	0,98	0,99
Marzo	75	95,9	3,09	18,625	89,463	1,00	0,93
Abril	105	150,9	5,03	9,065	89,746	0,97	0,98
Mayo	135	95,6	3,08	-23,218	90,683	1,01	0,93

Junio	162	227,6	7,59	1,58	89,956	0,97	0,99
Julio	198	218,3	7,04	-19,942	90,578	1,03	0,95
Agosto	228	203,8	6,57	16,986	89,513	1,01	0,94
Septiembre	258	112,7	3,76	11,337	89,681	0,97	0,97
Octubre	288	132,2	4,26	-22,73	90,667	1,01	0,93
Noviembre	318	190,5	6,35	0,178	89,995	1,03	0,99
Diciembre	344	139,9	4,51	-11,315	90,319	1,03	0,98
<b>Promedio</b>		150,6	4,95				

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-31:** Valores mensuales de radiación solar

Mes	Ho	H	KT	Hd	Hb
Enero	9050,55	2835,46	0,3133	1629,20	1206,26
Febrero	9989,84	2145,48	0,2148	1606,43	539,05
Marzo	9658,52	1959,40	0,2029	1516,70	442,69
Abril	9797,22	3231,66	0,3299	1779,85	1451,80
Mayo	9726,45	1967,00	0,2022	1525,31	441,70
Junio	9925,81	4940,41	0,4977	1831,26	3109,15
Julio	10102,32	4665,18	0,4618	1875,37	2789,80
Agosto	9796,19	4223,33	0,4311	1821,16	2402,17
Septiembre	9695,22	2388,44	0,2464	1639,22	749,22
Octubre	9693,98	2710,98	0,2797	1701,02	1009,97
Noviembre	10526,61	4383,46	0,4164	1955,86	2427,60
Diciembre	10463,70	3096,68	0,2959	1861,31	1235,37

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

**Tabla 4-32:** Valores mensuales de radiación solar sobre una superficie inclinada

Mes	Rb	Hbt	Hdt	Hrt	Ht	Gs
Enero	0,61	735,82	1520,06	529,10	2784,99	2835,46
Febrero	0,91	490,53	1498,82	400,35	2389,71	2145,48
Marzo	0,66	292,18	1415,10	365,63	2072,91	1959,40
Abril	0,76	1103,37	1660,63	603,04	3367,03	3231,66
Mayo	1,02	450,53	1423,13	367,05	2240,71	1967,00
Junio	0,84	2611,69	1708,59	921,89	5242,17	4940,41
Julio	1,05	2929,29	1749,75	870,53	5549,58	4665,18
Agosto	0,68	1633,48	1699,16	788,08	4120,72	4223,33
Septiembre	0,74	554,42	1529,42	445,69	2529,53	2388,44

Octubre	1,08	1090,76	1587,07	505,88	3183,71	2710,98
Noviembre	0,85	2063,46	1824,85	817,96	4706,27	4383,46
Diciembre	0,96	1185,95	1736,63	577,85	3500,43	3096,68

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.2.5 Balance de energía mensual

**Tabla 4-33:** Balance mensual de energía en el destilador

Mes	q'c	q'a	qt	Qt
Enero	563,99	1248,70	1812,68	10876,11
Febrero	494,99	814,01	1309,00	7854,00
Marzo	476,38	696,78	1173,16	7038,96
Abril	603,61	1498,31	2101,91	12611,47
Mayo	477,14	701,57	1178,71	7072,28
Junio	774,48	2574,82	3349,30	20095,8
Julio	746,96	2401,42	3148,38	18890,28
Agosto	702,77	2123,06	2825,83	16954,97
Septiembre	519,28	967,08	1486,36	8918,18
Octubre	551,54	1170,28	1721,82	10330,9
Noviembre	718,79	2223,94	2942,73	17656,35
Diciembre	590,11	1413,27	2003,38	12020,26

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.2.6 Energía total del destilador mensual

**Tabla 4-34:** Energía mensual en el destilador

Mes	Q(W)
Enero	408509,06
Febrero	405486,95
Marzo	404671,91
Abril	410244,42
Mayo	404705,23
Junio	417728,75
Julio	416523,23
Agosto	414587,92
Septiembre	406551,13
Octubre	407963,85

Noviembre	415289,30
Diciembre	409653,21

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.3 Laguna de secado

**Tabla 4-35:** Dimensiones laguna de secado

VARIABLES DE DISEÑO	VALOR
Largo	1,5m
Ancho	0,75m
Profundidad	0,5m
Área	1,125m <sup>2</sup>
Volumen	0,5625m <sup>3</sup>
Diámetro tubería porosa de drenaje	0,24m
Diámetro tubería PCV	0,24m

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

#### 4.2.4 Área Total de la planta

**Tabla 4-36:** Área total planta de tratamiento

Área	Valor
Planta de Tratamiento	300m <sup>2</sup>

Fuente: Cálculo de dimensionamiento, 2023.

Realizado por: Quezada D., 2023.

### 4.3 Validación del diseño de la planta de tratamiento

Para realizar la validación del diseño se realizaron las pruebas de tratabilidad en la planta piloto con cada muestra de lixiviado obtenidos en cada muestreo, mediante los resultados obtenidos de la caracterización del lixiviado que tuvo un tratamiento previo en el destilador solar se validó que el diseño propuesto para la planta de tratamiento de lixiviados generados en el botadero de Curgua, estos resultados de la caracterización cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPITULO V

### 5. CONLUCIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se diseñó la planta de tratamiento para tratar los lixiviados generados en el botadero empleando la destilación solar como tecnología de tratamiento, una alternativa viable y amigable con el medio ambiente, ya que utiliza energía renovable y no produce emisiones tóxicas. El diseño de la planta de tratamiento permitirá eliminar los contaminantes presentes en los lixiviados de manera efectiva, impidiendo su liberación en el medio ambiente y reduciendo el impacto ambiental del botadero de basura de CURGUA.
- Se conoció la composición por la caracterización fisicoquímica y microbiológica en base a la norma TULSMA y se determinaron las siguientes características: aceites y grasas 40,72 mg/l, cianuro ( $\text{CN}^-$ ) 0,28 mg/l, color 150 Pt-Co, cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ) 0,51 mg/l, demanda química de oxígeno (DQO) 3772,36 mg/l, demanda biológica de oxígeno (DBO5) 1790,26 mg/l, eschericha coli 4383,33 col/100ml, sólidos totales disueltos (SST) 268,69 mg/l, tensoactivos 3,76 mg/l.
- Se determinaron las variables del proceso cruciales para garantizar una eliminación eficiente de los contaminantes y un buen rendimiento de los destiladores solares diseñados. La determinación de las variables del proceso permitió evaluar la eficacia del tratamiento y realizar los ajustes necesarios en el proceso.
- Aplicando cálculos de ingeniería se hizo un dimensionamiento de la planta que fue necesario para asegurar que tenga la capacidad suficiente para tratar los lixiviados generados en el botadero de manera efectiva y eficiente. Además, la aplicación de cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de lixiviados es crítica para garantizar la eficacia del tratamiento, es así como la planta contara de un tanque de almacenamiento de  $9\text{m}^3$ , tres destiladores ubicados en paralelo cada uno de  $3\text{m}^3$  de capacidad, un lecho de secado de  $0,56\text{m}^3$ , un lugar para oficinas y otro para un laboratorio llegando a un área total de  $300\text{m}^2$ .
- Se validó el diseño propuesto mediante la caracterización final, en base al TULSMA LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, del lixiviado tratado determinando que los porcentajes de remoción son aceites y grasas 93,128%, cianuro ( $\text{CN}^-$ ) 97,898%, color 96,667%, cromo ( $\text{Cr}^{+6}$ ) 98,888%, demanda química de oxígeno (DQO) 99,315%, demanda biológica de oxígeno (DBO5) 99,274%, eschericha coli 100%, sólidos totales disueltos (SST) 77,732%, tensoactivos 93,332%.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental: Antes de construir la planta de tratamiento de lixiviados, es importante realizar un estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para evaluar la viabilidad del proyecto y determinar los costos y beneficios asociados con su implementación.
- Para el diseño de la planta de tratamiento se debe considerar la topografía y la ubicación del botadero, así como las regulaciones y requisitos ambientales aplicables. Además, se recomienda tener en cuenta la disponibilidad de recursos, como la energía solar y el agua, para garantizar la sostenibilidad del sistema de tratamiento.
- Diseñar el destilador solar adecuado, el destilador solar es una tecnología adecuada para el tratamiento de lixiviados en zonas con alta radiación solar, como es el caso de Curgua. Es importante diseñar un destilador solar adecuado para la cantidad y características de los lixiviados generados en el botadero de basura.
- Realizar un monitoreo constante del proceso de tratamiento, es importante realizar un monitoreo constante del proceso de tratamiento para asegurar que se están cumpliendo los objetivos de calidad del agua y garantizar la eficiencia del sistema.
- Proporcionar capacitación y entrenamiento adecuado al personal encargado de operar y mantener la planta de tratamiento de lixiviados. Esto es fundamental para garantizar la operación segura y eficiente de la planta de tratamiento y la prevención de accidentes o mal funcionamiento.
- Implementar medidas de seguridad para el personal, el personal encargado de la operación de la planta de tratamiento de lixiviados debe contar con las medidas de seguridad adecuadas, incluyendo el uso de equipo de protección personal, entrenamiento y capacitación para evitar accidentes y riesgos asociados con la manipulación de sustancias químicas y residuos peligrosos.

## GLOSARIO

- $A$ : Área del botadero de basura
- $h_{Br}$ : Altura de la bandeja
- $h_T$ : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua
- $h_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el agua y la cubierta
- $h_{ct}$ : Coeficiente de transferencia de calor convectivo
- $h_e$ : Coeficiente de transferencia de calor por evaporación
- $h_r$ : Coeficiente de radiación efectivo
- $T_w$ : Temperatura del agua
- $T_a$ : Temperatura ambiente
- $\varepsilon_b$ : Emisividad del acero inoxidable
- $\varepsilon_v$ : Emisividad del vidrio
- $A_{Br}$ : Área de la bandeja
- $A_{g2}$ : Área de las caras laterales de la cubierta
- $A_{g2}$ : Área de las caras posterior y anterior de la cubierta
- $C_{vw}$ : Calor de vaporización del agua
- $G_{SC}$ : Constante Solar
- $H_T$ : Estimación de la radiación solar sobre una superficie inclinada
- $H_b$ : Radiación solar diaria directa
- $H_d$ : Radiación solar diaria difusa
- $H_o$ : Radiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal
- $P_w$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del agua
- $P_{wv}$ : Presión de vapor saturada de agua a la temperatura del vidrio
- $Q_T$ : Calor almacenado por el destilador solar en función del área del colector
- $T_a$ : Temperatura ambiente
- $T_{dp}$ : Temperatura de rocío
- $T_g$ : Temperatura del vidrio
- $T_s$ : Temperatura del cielo
- $V_{Br}$ : Volumen de la bandeja recolectora
- $a_{ES}$ : Ancho de la estructura de soporte
- $a_g$ : Ancho del vidrio
- $b_{CD}$ : Base de la cubierta del destilador
- $k_b$ : Resistencia térmica equivalente del aislante
- $l_{ES}$ : Largo de la estructura de soporte

$q' a$ : Energía almacenada en el agua  
 $q' c$ : Energía almacenada en la cubierta  
 $q_c$ : Transferencia de calor por conducción  
 $q_{cg}$ : Calor perdido por convección en el vidrio  
 $q_{cw}$ : Calor perdido por convección del agua  
 $q_e$ : Calor perdido por evaporación  
 $q_{rg}$ : Transferencia de calor por radiación en el vidrio  
 $q_{rw}$ : Transferencia de calor por radiación en el agua  
 $q_t$ : Energía almacenada del sistema  
 $t_1$ : Tiempo inicial  
 $t_2$ : Tiempo final  
 $\omega_s$ : Angulo horario  
 $\phi$ : Latitud  
a y b: Constantes de Angstrom  
Et: Eficiencia teórica  
n: Día representativo del mes  
Req: Resistencia térmica equivalente de las paredes del colector  
A: Área de captación de energía solar  
Ag: Área del vidrio  
Cpg: Calor específico del vidrio  
Cpw: Calor específico del agua  
Eg: Espesor del vidrio  
Gs: Energía solar disponible para la transferencia de calor y masa  
Hb<sub>T</sub>: Radiación solar directa sobre una superficie inclinada  
Hr<sub>T</sub>: Radiación solar reflejada por el suelo  
H: Radiación solar terrestre diaria promedio sobre una superficie horizontal  
Ll: Caudal por balance hídrico de infiltración  
K: Grado de compactación  
KT: Índice de claridad  
Kb: Resistencia térmica equivalente del aislante  
Mt: Producción teórica  
N: Número de horas de sol teóricas  
P: Precipitación media anual  
Q<sub>ms</sub>: Caudal por método suizo de lixiviado  
Q<sub>T</sub>: Caudal de lixiviado generado  
Q: Energía total del destilador solar

$QN$ : Calor necesario para calentar y evaporar

$QT$ : Energía por área en el destilador solar

$Qcg$ : Cantidad de calor que se requiere para calentar el vidrio

$Qcw$ : Cantidad de calor que se requiere para calentar el agua

$Qev$ : Cantidad de calor que se requiere para evaporar un porcentaje de agua

$Rb$ : Factor del cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

$Vw$ : Volumen del agua

$a$ : ancho de la bandeja colectora

$c$ : Ancho del canal de recolección

$k1$ : Coeficiente de conductividad térmica de la base de la estructura

$k1$ : Coeficiente de conductividad térmica de la base del colector

$k1$ : Coeficiente de conductividad térmica del aislante

$t_{ll}$ : Tiempo de llenado del tanque de acumulación

$l$ : Largo de la bandeja colectora

$mg$ : Masa del vidrio

$mw$ : Masa del agua

$nr$ : Heliofanía

$qt$ : Energía almacenada del sistema

$v$ : Velocidad del viento

$x1$ : Espesor de la plancha de acero de la base del colector

$x2$ : Espesor del aislante (lana de vidrio)

$x3$ : Espesor de la base de la estructura

$\alpha g$ : Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio

$\alpha w$ : Coeficiente de la reflexión y la absorción de la radiación solar por el agua y el fondo del destilador

$\beta$ : Ángulo de inclinación de la cubierta del vidrio

$\delta$ : Ángulo de declinación solar

$\rho$ : albedo (0.20) adimensional

$\rho g$ : Densidad del vidrio

$\rho w$ : Densidad del agua

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVARADO VALDIVIESO, Karen Guadalupe.** Diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la recirculación en los procesos industriales de la Hormigonera de los Andes, provincia Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 1-163. [Consulta: 2023-03-29]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6472>.

**ÁLVAREZ CONTRERAS, Alexander.; & SUÁREZ GELVEZ, John H.** “Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta”. *Ingeniería y Desarrollo* [En línea], 2006, (Colombia) (20), pp. 95-105. [Consulta: 8 marzo 2023.]. ISSN: 0122-3461. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202007>

**ANDRADE BORJA, Byron Fabián.** Diseño de un sistema de tratamiento biológico complementario para lixiviados provenientes del Botadero “Curgua”, cantón Guaranda [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador. Pp. 1-124. [Consulta: 2023-03-16]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/7910>

**ASTORGA DEL CANTO, Catalina Fernanda.** Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: Propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales. Santiago de Chile, Chile. 2018. pp. 1-100. [Consulta: 2023-03-08]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152920>.

**AYALA PADILLA, LUIS EDUARDO.; et al.** “Una mirada a la evaporación como operación en la industria química”. *Aportes de ingeniería* [En línea], 2020, (Colombia) 13(1), pp. 1-19. [Consulta: 10 marzo 2023]. ISSN 2011-639X. Disponible en: <https://doi.org/10.29097/23461098.304>

**BASTOS DAZA, Carlos Jeffrey.** Tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Libre de Socorro, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Programa de Especialización en Gestión Ambiental. Colombia. 2021.

pp. 1-26. [Consulta: 2023-03-08]. Disponible en:  
<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/22387>

**CONTRERAS SEPÚLVEDA, Wilmer.** “Modelo empírico de Angström-Prescott para estimar la radiación solar en Norte de Santander, Colombia”. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación* [En línea], 2021, (Colombia) 11(2), pp. 413–428. [Consulta: 24 marzo 2023.]. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n2.2021.12765>

**CUPITA COAQUIRA, Harold Mateo.** Diseño, construcción y análisis de destilador solar de doble vertiente acoplado a colector solar de placa plana, como alternativa de obtención de agua pura a base de energía renovable, aplicado a la población rural del distrito de Majes [En línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Perú. 2022. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12342>

**DÍAZ GUTIÉRREZ, Sebastian.** Diseño de un sistema de condensación de agua aprovechando la humedad presente en el aire del municipio de Uribia, La Guajira [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Mecánica. Bogotá, Colombia. 2021. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8441>

**DUFFIE, John A.; & BECKMAN, William A.** *Solar Engineering of Thermal Processes* [En línea]. 4° ed. New Jersey: Hoboken, 2013. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118671603>

**ESCANDÓN CRESPO, María Piedad.; & FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA VIVANCO, Doménica Michelle.** Diseño de un prototipo de destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano en una familia [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca, Ecuador. pp. 1-153. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21428>

**BAUTINZA, Chelvi Felix.** Sistema de destilación solar para purificación de aguas salobres [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería Química. Cusco, Perú. 2020. pp. 1-137. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/5449>

**FONSECA FONSECA, Susana.; et al.** “Prototipo de destilador solar de fibra de vidrio”. *Tecnología Química* [En línea], 2005, (Cuba) 15(03), pp. 57-64. [Consulta: 10 marzo 2023]. ISSN: 0041-8420. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543748007>

**FRANCO, Judith.; & SARA VIA, Luis.** “Destilador Solar Multietapa”. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA* [En línea], 1992, (Argentina) (2), pp. 403-408. [Consulta: 10 marzo 2023.]. ISSN: 2796-8111. Disponible en: <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2937>

**GARCIA BADELL, Jose Javier.** *Cálculo de la Energía Solar* [En línea]. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1983. [Consulta: 10 marzo 2023.]. Disponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-calculo-de-la-energia-solar/9788495279729/908071>

**HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan Jorge.** *Destilación solar* [En línea]. Guadalajara: Comisión para el Fomento Editorial, 1989. [Consulta: 10 marzo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11117/207>

**LABORDE, Miguel A.; & WILLIAMS, Roberto J. J.** *Energía Solar* [En línea]. 1° ed. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2016. [Consulta: 10 marzo 2023.]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/energia-solar-16-pdf-free.html>

**LEON CHIMBOLEMA, José Gerardo.; & ANDRADE BORJA, Byron Fabián.** “Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero “Curgua”. *Polo del conocimiento* [En línea], 2021, (Ecuador), 6(6), pp. 1099-1115. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN: 2550 - 682X. Disponible en: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2807/5997>

**LOPEZ CIFUENTES DE GÁLVEZ, Isis Aracely.** “Fermentación y Destilación alcohólica”. *Revista Ingeniería y Ciencia* [En línea], 2016, (2), pp. 26-31. [Consulta: 10 marzo 2023.]. Disponible en: <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/riyc/article/view/1016/899>

**MORALES PILATA XI, Myriam Lizeth.** Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de los cantones Patate y Pelileo EMMAIT-EP en el cantón Pelileo, provincia Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de

Ingeniería Química. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 1-149. [Consulta: 2023-03-13]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6554>

**PÉREZ JINEZ, Jean Pierre.; & ZUMBANA LÓPEZ, Edison Damian.** Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de lodos residuales de una PTAR a escala de laboratorio en la Facultad de Ciencias - ESPOCH, 2015 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba Ecuador. 2016. pp. 1-162. [Consulta: 2023-03-29]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4911>.

**SABANDO ÁLVAREZ, Andrea Valeria.** Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador, 2017. pp. 1-131. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6663>

**SANCHEZ ASICLO, Merenciana y YAGKUG CONTRERAS, Kassandra.** Eficacia de un destilador solar en el tratamiento de aguas residuales de la provincia de Trujillo [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Ambiental. Trujillo, Perú. 2020. pp. 1-119. [Consulta: 2023-03-10]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/24119>

**TIBANLOMBO CHISAG, Nelly Marisol.** Diseño de una planta de tratamiento de Lixiviados para el botadero de Curgua del cantón Guaranda provincia de Bolívar [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. 2014. pp. 1-195. [Consulta: 2023-03-16]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3655>

**Torres Lozada, Patricia.; et al.** “Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [En línea], 2014, (Colombia) 7(1), pp. 245-255. [Consulta: 8 marzo 2023]. ISSN 0123-4226. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262014000100027](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100027)



# ANEXOS

## ANEXO A: ANÁLISIS LIXIVIADO CRUDO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA



INFORME DE ENSAYO No. 33 e					
Solicitado por:		Sr. Daniel Quezada			
Dirección:		Guaranda			
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:		10/05/2023 (11H10)	Fecha final de Análisis:		10 - 18/05/2023
Muestreo:		Sr. Daniel Quezada		Fecha y Hora:	
Condiciones ambientales de análisis:		T máx: 18 °C		T mín: 13 °C	
Procedencia: Lixiviado - Botadero de Residuos Sólidos - Curgua					
Coordenadas:					
<b>Resultados</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-30	30,00	40,08	
Arsénico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-31	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al <sup>+++</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-35	5,0	0,007	± 10
Bario (Ba <sup>++</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-36	2,0	4,25	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-35	2,0	4,11	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,02	0,007	
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-37	0,1	0,35	± 29
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-38	1000	440,63	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	0,007	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-32	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-30	1,20	190,00	± 22
Cromo (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-31	0,5	0,49	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-35	200	3842,03	± 10
DBO <sub>5</sub>	mg/L	AN-EMAPAG-36	100	1756,11	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-37	5,0	0,51	± 11
Escherichia Coli	Col/100mL	AN-EMAPAG-35	2000	4600	
Fluoruro (F)	mg/L	AN-EMAPAG-35	5,0	9,84	± 35
Fósforo Total (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-37	10,0	26,37	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-38	10,0	23,68	± 16
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-39	2,0	2,26	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-30	2,0	0,008	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-21	50,0	49,83	± 25
Nitrogeno Amomiacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	AN-EMAPAG-22	30,0	18,78	± 29
Oxigeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-23	.....	0,38	
Plata (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-24	0,1	0,008	± 38
Plomo (Pb <sup>++</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-24	0,2	0,007	± 29
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	AN-EMAPAG-22	130	270,19	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-23	1600	560,28	± 16
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-26	100	46	± 31
Temperatura	C °	AN-EMAPAG-27	± 3	15,87	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	3,71	± 17
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	AN-EMAPAG-29	5,0	1,92	± 5

Fuente: Texto Unificado de Legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites descarga a un cuerpo de agua dulce

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G



FRIDO ALIAN

*Ing. Quím. Raúl Alán*

**TECNICO LABORATORIO**



**ANEXO C: ANÁLISIS DE LOS LODOS SOBRANTES DE LA DESTILACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**



INFORME DE ENSAYO No. 40					
Solicitado por:		Sr. Daniel Guezada			
Dirección:		Guaranda			
<b>Fecha y hora que Ingresó al laboratorio:</b>		16/05/2023 (10H30)	<b>Fecha final de Análisis:</b>		16-30/02/2023
<b>Muestreo:</b>		Ing. Quím. Raúl Allán		<b>Fecha y Hora:</b> 16/05/2023 (10H00)	
<b>Condiciones ambientales de análisis:</b>			<b>T máx:</b> 10 °C	<b>T mín:</b> 13 °C	
<b>Procedencia:</b> Lodos Generados Líquidos (Destilador)					
<b>Coordenadas:</b>					
<b>Resultados</b>					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Carbono Orgánico Total (COT)	%	NTC 5403 Walkley & Black	0,06	4,76	± 5
Nitrogeno Total	mg/L	IGAC	0,00%	49,6	± 10
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.					
Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la EP - EMAPA-G					
<b>Ing. Quím. Raúl Allán</b> <b>TECNICO LABORATORIO</b>					

**ANEXO D: VALIDACIÓN DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  <b>REALIZADO POR:</b> Daniel Quezada Flores	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA</b>		
			<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FECHA:</b> 30/05/2023	<b>LÁMINA:</b> 1

**ANEXO E: SISTEMA DE RECOLECCIÓN ACTUAL DE LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**



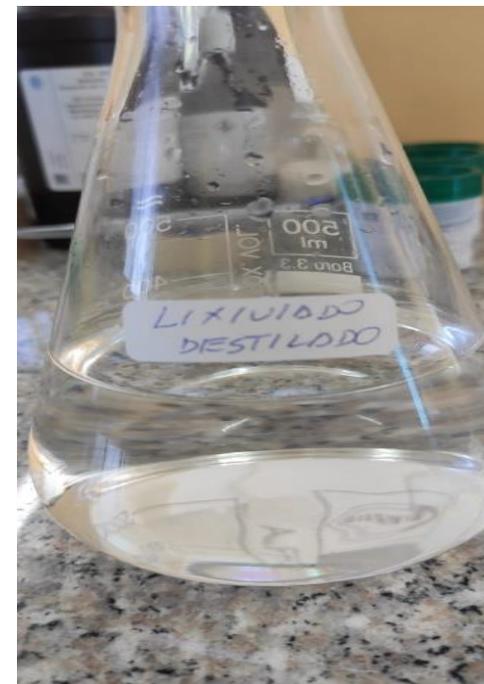
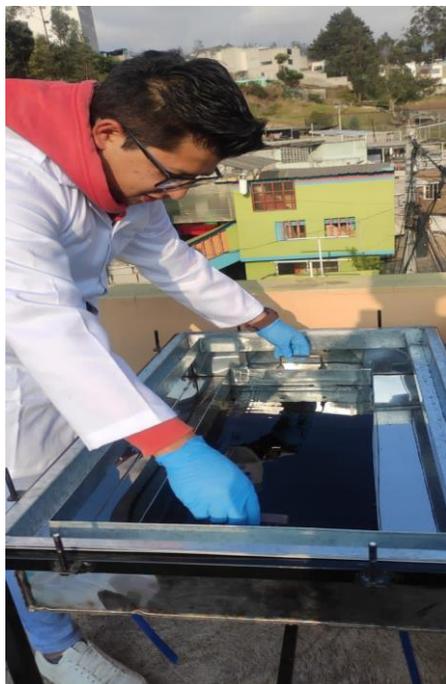
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  <b>REALIZADO POR:</b> Daniel Quezada Flores	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA</b>		
			<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FECHA:</b> 30/05/2023	<b>LÁMINA:</b> 2

**ANEXO F: MUESTREO DE LIXIVIADO DEL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**



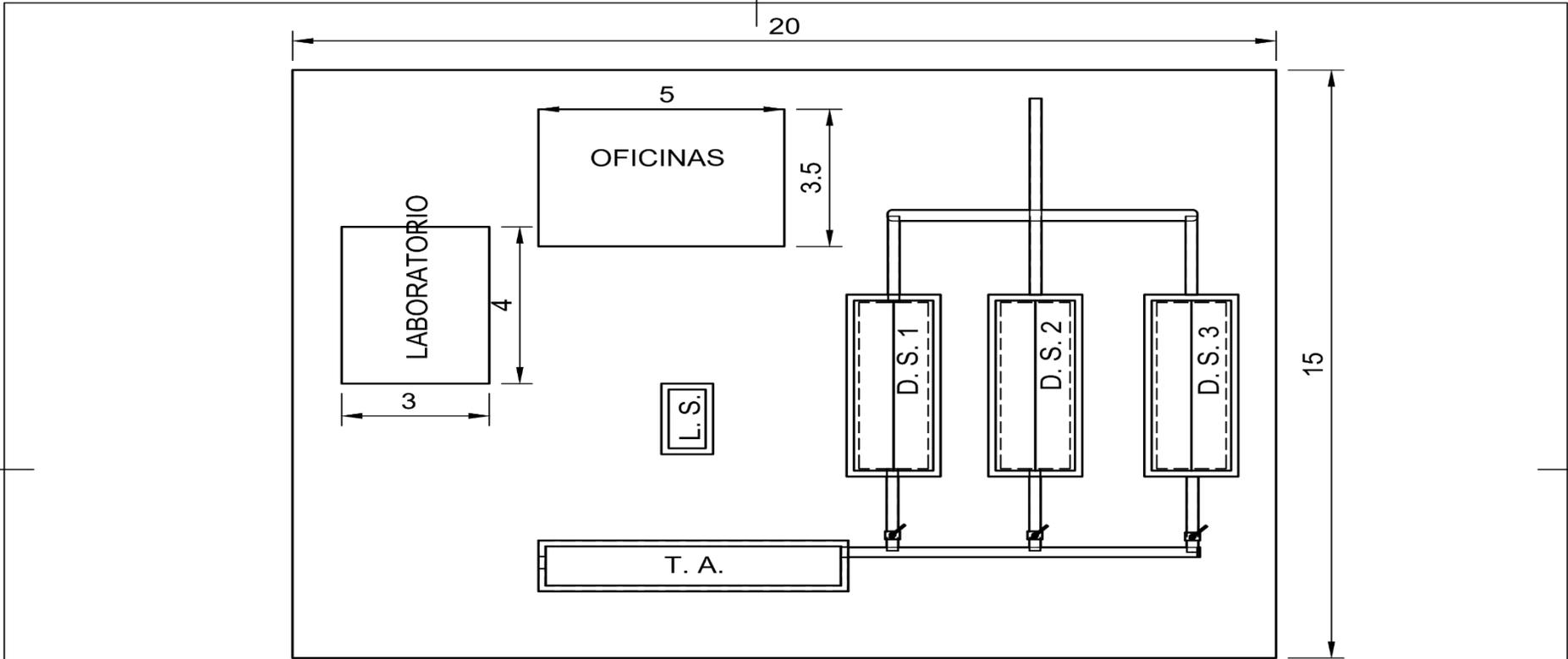
<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  <b>REALIZADO POR:</b> Daniel Quezada Flores	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA</b>		
			<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FECHA:</b> 30/05/2023	<b>LÁMINA:</b> 3

**ANEXO G: PRUEBAS DE TRATAMIENTO A ESCALA DE LABORATORIO**



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  <b>REALIZADO POR:</b> Daniel Quezada Flores	<b>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON UN DESTILADOR SOLAR PARA EL BOTADERO DE BASURA DE CURGUA</b>		
			<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>FECHA:</b> 30/05/2023	<b>LÁMINA:</b> 4

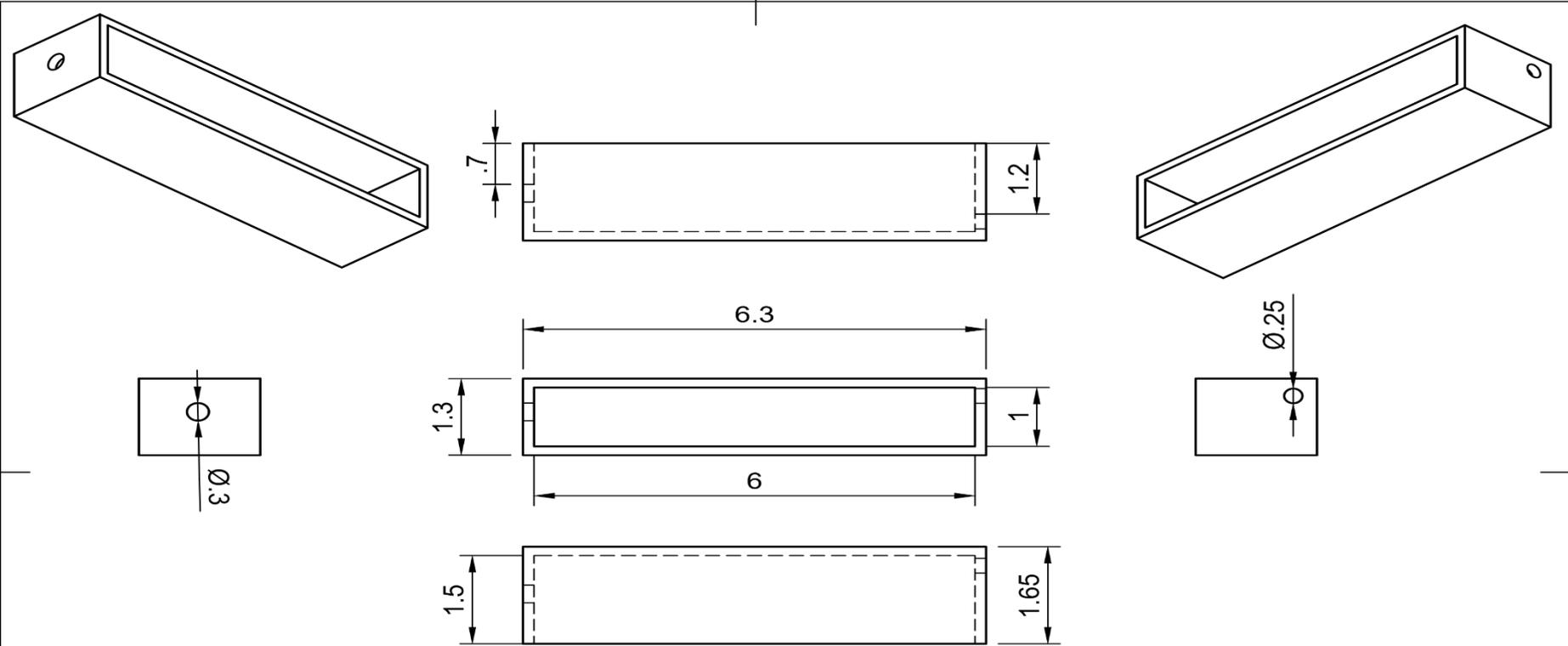
**ANEXO H: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADO BOTADERO DE BASURA DE CURGUA**



T.A.: Tanque de alimentación  
 D.S.1: Destilador solar 1  
 D.S.2: Destilador solar 2  
 D.S.3: Destilador solar 3  
 L.S.: Lecho de secado

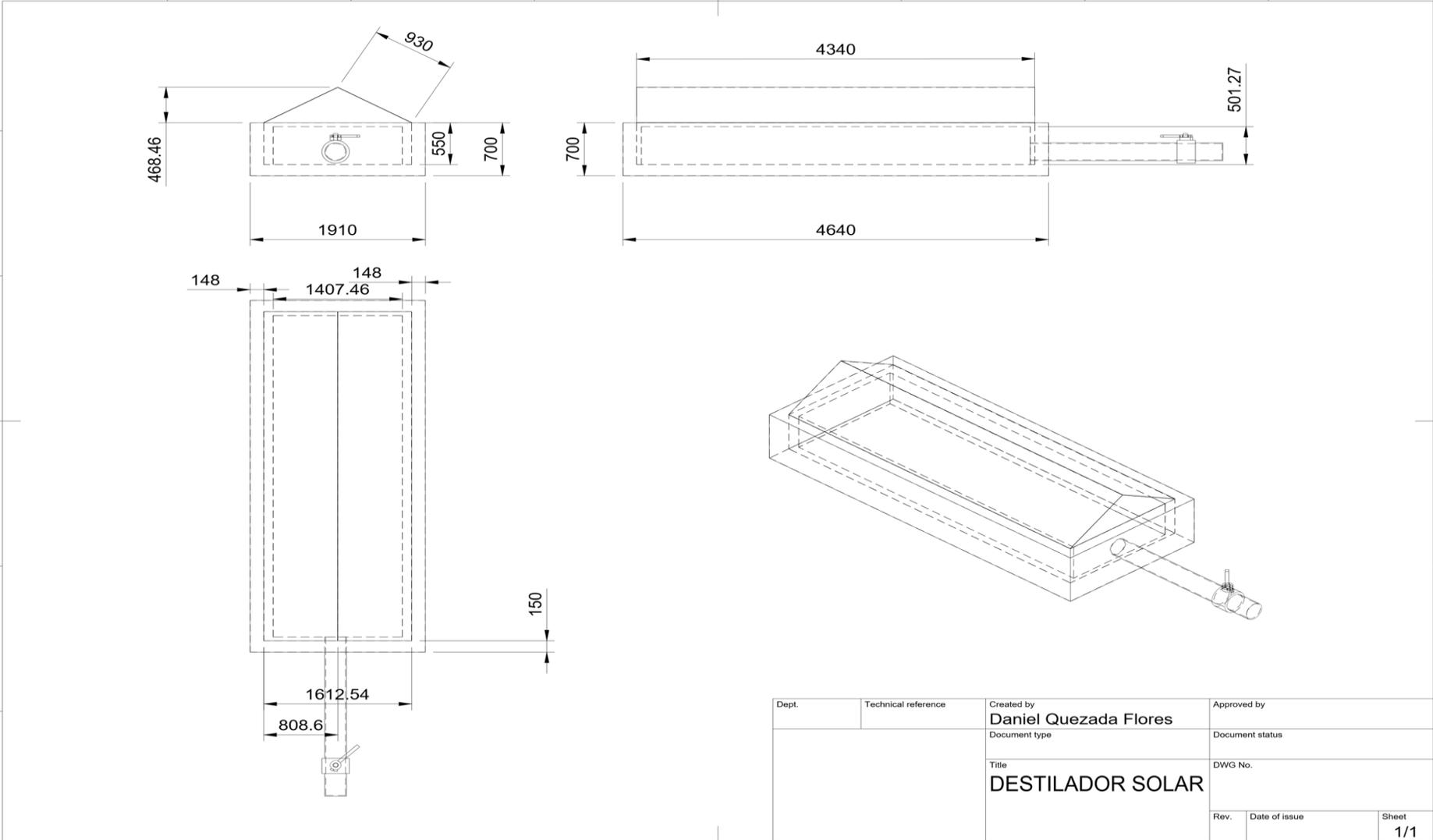
Dept.	Technical reference	Created by <b>Daniel Quezada Flores</b>	Approved by
		Document type	Document status
		Title <b>Planta de Tratamiento</b>	DWG No.
Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>	

**ANEXO I: DISEÑO TANQUE DE ACUMULACIÓN**



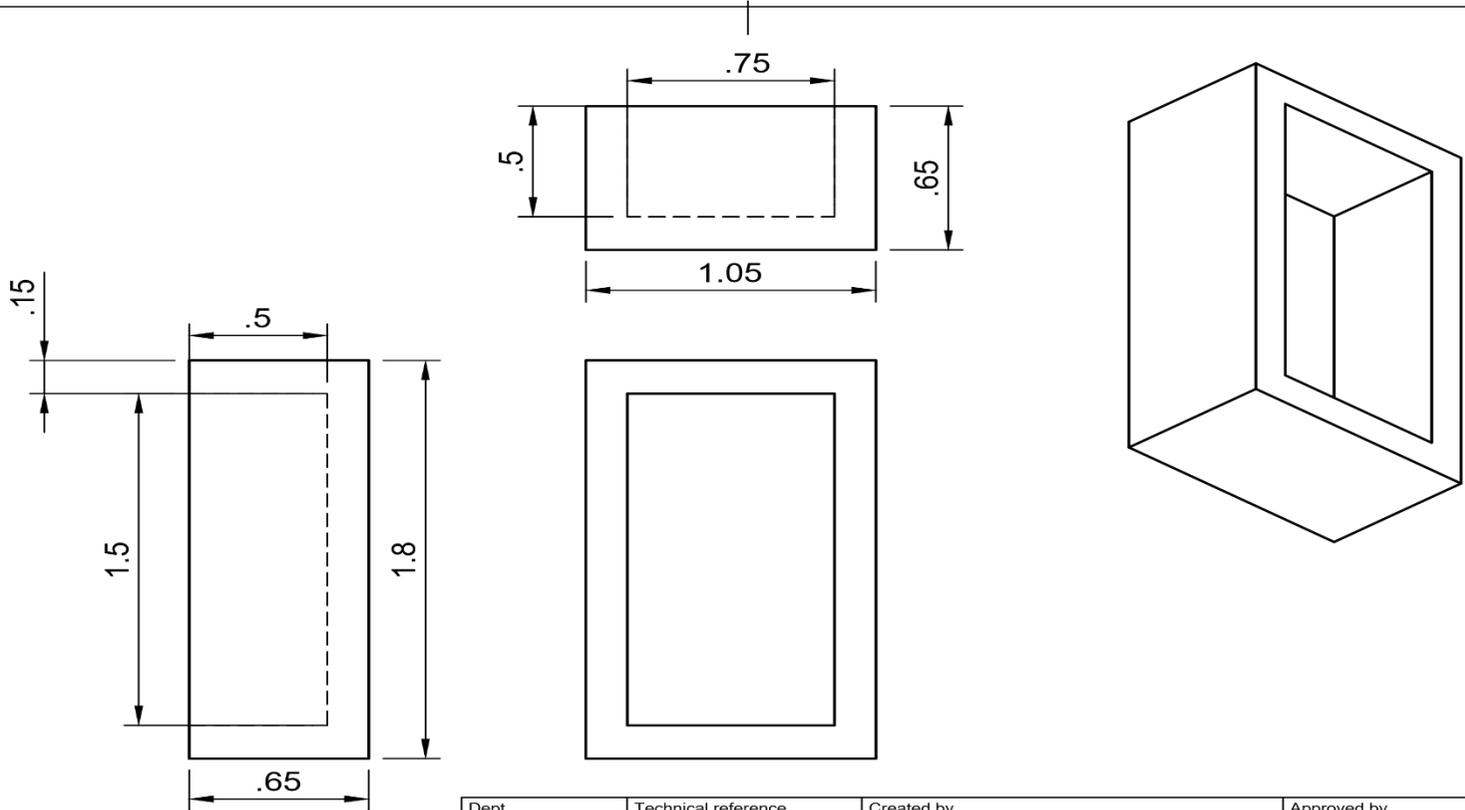
Dept.	Technical reference	Created by <b>Daniel Quezada Flores</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Tanque de Almacenamiento</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>

**ANEXO J: DISEÑO DESTILADOR SOLAR**



Dept.	Technical reference	Created by <b>Daniel Quezada Flores</b>	Approved by
		Document type	Document status
		Title <b>DESTILADOR SOLAR</b>	DWG No.
		Rev.	Date of issue
		Sheet	<b>1/1</b>

**ANEXO K: DISEÑO LECHO DE SECAD**



Dept.	Technical reference	Created by <b>Daniel Quezada Flores</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Lecho de Secado</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Daniel Fernando Quezada Flores
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

2170-DBRA-UPT-2023

