



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA
CIUDAD DE AMBATO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: KATHERINE MISHELL LANDA LANDA

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Katherine Mishell Landa Landa

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, Katherine Mishell Landa Landa, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

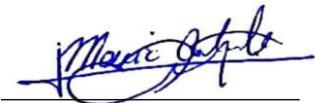
Riobamba, 29 de noviembre del 2023



Katherine Mishell Landa Landa
1850485903

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, **REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO**, realizado por la señorita: **KATHERINE MISHELL LANDA LANDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Hugo Segundo Calderón PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-29
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-29
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-29

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi padre Jorge Landa y a mi madre Blanca Landa por brindarme su amor, su apoyo incondicional y por motivarme a seguir adelante, han sido mi fuente de inspiración, a mis hermanos Daysi, Adrián y Ezequiel por brindarme su apoyo moral, espero servirles de ejemplo que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación.

Katherine

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme sabiduría y conocimiento para culminar mis estudios, por ser mi guía y fortaleza y sobre todo por brindarme de su infinito amor hasta el día de hoy. A mi padre Jorge Landa y a mi madre Blanca Landa por creer en mí y apoyarme tanto moral como económicamente en mi carrera universitaria, a mis hermanos Daysi, Adrián y Ezequiel por impulsarme a ser mejor cada día y a toda mi familia por incentivar me a cumplir mis sueños.

A la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo quien me permitió formarme profesionalmente, a la Ing. Mayra Zambrano, así como también a la Ing. Mónica Andrade por orientarme, compartir sus conocimientos y brindarme su paciencia para poder culminar el presente trabajo de titulación, a la Dra. Gina Álvarez por su ayuda y asesoramiento en el Laboratorio de Calidad de Agua.

A la Tenería Núñez por abrirme sus puertas y por la atención brindada para realizar el trabajo de titulación.

Katherine

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos..	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Referencias teóricas.....	6
2.2.1 <i>Sistema de tratamiento</i>	6
2.2.2 <i>Aguas residuales</i>	7
2.2.3 <i>Curtiembre</i>	7
2.2.3.1 <i>Ribera</i>	8
2.2.3.2 <i>Curtido</i>	9

2.2.3.3	<i>Acabado</i>	9
2.2.4	Tipos de curtido	10
2.2.4.1	<i>Curtido al cromo</i>	10
2.2.4.2	<i>Curtido vegetal</i>	11
2.2.5	Problemas ambientales de la industria curtiembre	13
2.2.5.1	<i>Efluentes líquidos</i>	13
2.2.5.2	<i>Residuos sólidos</i>	13
2.2.5.3	<i>Emisiones de gases</i>	14
2.2.5.4	<i>Ruido</i>	14
2.2.6	Parámetros utilizados en la caracterización de aguas residuales	14
2.2.7	Tratamientos de aguas residuales provenientes del proceso de curtiembre	16
2.2.7.1	<i>Pretratamiento</i>	17
2.2.7.2	<i>Tratamiento primario</i>	17
2.2.7.3	<i>Tratamiento secundario</i>	18
2.2.7.4	<i>Tratamiento terciario</i>	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	20
3.1	Localización del proyecto	20
3.2	Ingeniería del Proyecto	21
3.2.1	<i>Tipo de estudio</i>	21
3.2.2	<i>Métodos</i>	21
3.2.2.1	<i>Método Inductivo</i>	21
3.2.2.2	<i>Método Deductivo</i>	21
3.2.2.3	<i>Método Experimental</i>	21
3.2.3	Técnicas	22
3.2.3.1	<i>Técnicas de laboratorio</i>	22
3.3	Toma y monitoreo de muestras	28

3.3.1	<i>Manejo y conservación de las muestras</i>	28
3.3.2	<i>Diagnóstico de la PTAR existente</i>	29
3.3.3	<i>Caracterización del agua residual de curtido vegetal</i>	30
3.3.4	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	31
3.4	Pruebas de tratabilidad	32
3.4.1	<i>Prueba de jarras</i>	33
3.4.2	<i>Químicos empleados en la tratabilidad de aguas residuales</i>	34
3.4.3	<i>Ensayos de tratabilidad del agua residual de curtido vegetal</i>	35
3.4.3.1	<i>Aireación</i>	35
3.4.3.2	<i>Precipitación de lodos con cal P-24</i>	36
3.4.3.3	<i>Coagulación-floculación</i>	39
3.4.3.4	<i>Filtración</i>	42
3.5	Cálculos de ingeniería	42
3.5.1	<i>Propuesta de rediseño de la PTAR de la Tenería Núñez</i>	42
3.5.2	<i>Dimensionamiento de unidades para el rediseño de la PTAR</i>	43
3.5.2.1	<i>Caudal experimental</i>	43
3.5.2.2	<i>Caudal de corrección</i>	44
3.5.2.3	<i>Caudal de diseño</i>	44
3.5.2.4	<i>Dimensionamiento del sistema de rejillas</i>	45
3.5.2.5	<i>Tanque de almacenamiento</i>	50
3.5.2.6	<i>Dimensionamiento del tanque de aireación</i>	51
3.5.2.7	<i>Dimensionamiento del sedimentador</i>	60
3.5.2.8	<i>Dimensionamiento del lecho de secado</i>	70
3.5.2.9	<i>Dimensionamiento del filtro</i>	74

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	80
4.1	Análisis de la caracterización del agua residual de curtido vegetal	80

4.2	Porcentaje de remoción del tratamiento	81
4.3	Resultados del rediseño de la PTAR.....	87
4.4	Proceso de tratamiento	90
4.5	Análisis del costo del proyecto.....	91
4.5.1	<i>Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales</i>	92
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	94
	CONCLUSIONES.....	96
	RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Parámetros organolépticos.....	14
Tabla 2-2: Parámetros químicos.....	15
Tabla 2-3: Parámetros físicos.....	16
Tabla 2-4: Operaciones que abarca el pre-tratamiento.....	17
Tabla 2-5: Operaciones que abarca el tratamiento primario	18
Tabla 2-6: Operaciones que abarca el tratamiento secundario.....	19
Tabla 3-1: Localización de la Tenería Núñez	20
Tabla 3-2: Determinación de conductividad.....	22
Tabla 3-3: Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	23
Tabla 3-4: Determinación de la temperatura.....	23
Tabla 3-5: Determinación del pH.....	24
Tabla 3-6: Determinación de turbiedad.....	24
Tabla 3-7: Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).....	25
Tabla 3-8: Determinación de sólidos totales	26
Tabla 3-9: Determinación de sulfuros.....	27
Tabla 3-10: Recolección de muestras de agua residual de curtido vegetal	28
Tabla 3-11: Técnicas generales para la conservación de muestras - análisis fisicoquímico	29
Tabla 3-12: Eficiencia de la PTAR del agua de curtido vegetal	30
Tabla 3-13: Resultados de la caracterización del agua residual de curtido de la Tenería Núñez.....	31
Tabla 3-14: Parámetro del índice de biodegradabilidad.....	32
Tabla 3-15: Relación del DBO ₅ /DQO del agua de residual de curtido vegetal.....	32
Tabla 3-16: Coagulantes y floculantes empleados en la tratabilidad del agua residual	34
Tabla 3-17: Determinación del tiempo de aireación	36
Tabla 3-18: Resultados de la precipitación de lodos con cal P-24.....	37
Tabla 3-19: Ajuste de pH con cal P-24	38
Tabla 3-20: Selección del coagulante para el agua residual de curtido vegetal	40
Tabla 3-21: Dosificación del sulfato de aluminio para el agua residual de curtido vegetal.....	40

Tabla 3-22: Dosificación del polielectrolito aniónico para el agua residual de curtido vegetal	41
Tabla 3-23: Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica	45
Tabla 3-24: Coeficiente de pérdida para rejillas	49
Tabla 3-25: Datos del tanque de almacenamiento	50
Tabla 3-26: Datos para el diseño del tanque de aireación	52
Tabla 3-27: Régimen y eficiencia	58
Tabla 3-28: Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal	63
Tabla 3-29: Proporciones geométricas para un sistema de agitación “normal”	65
Tabla 3-30: Valores de KT y KL	66
Tabla 3-31: Tiempo requerido para digestión de lodos	72
Tabla 3-32: Tiempo requerido para digestión de lodos	74
Tabla 3-33: Parámetros de diseño de laterales	78
Tabla 4-1: Resultado de la caracterización del efluente tratado de curtido vegetal	80
Tabla 4-2: Porcentaje de remoción de los contaminantes del efluente de curtido vegetal	81
Tabla 4-3: Porcentaje de remoción del color del efluente de curtido vegetal	81
Tabla 4-4: Porcentaje de remoción de aceites y grasas del efluente de curtido vegetal	82
Tabla 4-5: Porcentaje de remoción de sulfuros del efluente de curtido vegetal	83
Tabla 4-6: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de curtido vegetal	83
Tabla 4-7: Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables del efluente de curtido vegetal	84
Tabla 4-8: Porcentaje de remoción de sólidos totales del efluente de curtido vegetal	85
Tabla 4-9: Porcentaje de remoción de la turbiedad del efluente de curtido vegetal	85
Tabla 4-10: Porcentaje de remoción de la DQO del efluente de curtido vegetal	86
Tabla 4-11: Porcentaje de remoción de la DBO del efluente de curtido vegetal	87
Tabla 4-12: Resultados del cálculo del caudal	88
Tabla 4-13: Dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual	88
Tabla 4-14: Dimensionamiento del tanque de aireación	88
Tabla 4-15: Dimensionamiento del sedimentador	89
Tabla 4-16: Dimensionamiento del lecho de secado	89

Tabla 4-17: Dimensionamiento del tanque filtración.....	90
Tabla 4-18: Presupuesto de implementación de equipos	92
Tabla 4-19: Presupuesto de productos químicos.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Diagrama del proceso de obtención de cuero.....	8
Ilustración 2-2:	Curtido al cromo.....	10
Ilustración 2-3:	Taninos naturales.....	11
Ilustración 2-4:	Curtido al cromo.....	12
Ilustración 3-1:	Localización de la Tenería Núñez.....	20
Ilustración 3-2:	Equipo del test de jarras.....	33
Ilustración 3-3:	Procedimiento para realizar la aireación del agua residual.....	35
Ilustración 3-4:	Procedimiento para realizar la aireación del agua residual.....	37
Ilustración 3-5:	Precipitación de lodos con cal P-24.....	38
Ilustración 3-6:	Coagulación-floculación del agua residual.....	39
Ilustración 3-7:	Coagulación-floculación del agua residual.....	40
Ilustración 3-8:	Dosificación de 15 mL de sulfato de aluminio.....	41
Ilustración 3-9:	Filtración del agua tratada.....	42
Ilustración 3-10:	PTAR actual y propuesta de rediseño.....	43
Ilustración 3-11:	Formas de rejillas.....	49
Ilustración 3-12:	Sistema de rejillas.....	50
Ilustración 3-13:	Tanque de aireación.....	59
Ilustración 3-14:	Tanque de sedimentación.....	67
Ilustración 3-15:	Lecho de secado.....	74
Ilustración 3-16:	Tanque de filtración.....	79
Ilustración 4-1:	Remoción de color.....	82
Ilustración 4-2:	Remoción de aceites y grasas.....	82
Ilustración 4-3:	Remoción de sulfuros.....	83
Ilustración 4-4:	Remoción de sólidos suspendidos totales.....	84
Ilustración 4-5:	Remoción de sólidos sedimentables.....	84
Ilustración 4-6:	Remoción de sólidos totales.....	85
Ilustración 4-7:	Remoción de la turbiedad.....	86

Ilustración 4-8:	Remoción de la DQO	86
Ilustración 4-9:	Remoción de la DBO	87
Ilustración 4-10:	Propuesta de la PTAR para el proceso de curtido vegetal.....	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Tabla 8, Libro VI, TULSMA. Límites de descarga al sistema de alcantarillado

ANEXO B: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal

ANEXO C: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal

ANEXO D: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal

ANEXO E: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada de curtido vegetal

ANEXO F: Caracterización fisicoquímica del agua residual de curtido vegetal

ANEXO G: Pruebas de tratabilidad del agua residual de curtido vegetal

ANEXO H: Caracterización fisicoquímica del agua tratada de curtido vegetal

ANEXO I: Sistema de rejillas

ANEXO J: Tanque de aireación

ANEXO K: Agitador de palas planas y deflector

ANEXO L: Tanque de sedimentación

ANEXO M: Lecho de secado

ANEXO N: Tanque de filtración

ANEXO O: PTAR

RESUMEN

Se realizó el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la etapa de curtido vegetal de la Tenería Núñez para cumplir con lo establecido en la normativa ambiental vigente, por lo tanto se llevó a cabo la caracterización del agua residual para ello, se determinó que los siguientes parámetros se encontraban fuera de los límites permisibles: aceites y grasas 72,333 mg/L, sulfuros 16,6 mg/L, pH 4,307, sólidos suspendidos totales 1047 mg/L, sólidos totales 17597 mg/L, DQO 19 467 mg/L y DBO 1 833 mg/L. Se definió el tipo de tratamiento en base al valor obtenido del índice de biodegradabilidad que fue de 0,042 lo que establece que el tratamiento es fisicoquímico por lo tanto se inició con los siguientes tratamientos como son aireación del agua residual por un tiempo de 3 horas, esto ayudó a disminuir los sulfuros, obteniendo un porcentaje de remoción de 80,72 %, también se realizó la tratabilidad para precipitar los lodos, para ello se empleó 3 gramos de cal P-24, , al sobrenadante se realizó coagulación y floculación, como coagulante se usó 15 mL de sulfato de aluminio (1 %) a 100 rpm, mientras que como floculante se empleó 2 mL de polielectrolito aniónico (1 %) a 30 revoluciones por 15 minutos, se dejó sedimentar por un tiempo de 3 horas y el efluente pasó por un filtro compuesto por arena, carbón activado granulado, grava fina y gruesa, al agua residual obtenida en este último paso se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica y se comprobó que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. El rediseño consta de un sistema de rejillas de limpieza manual, un tanque de aireación, un sedimentador tipo cilíndrico de fondo troncocónico y un filtro compuesto de arena, carbón activado granulado, grava fina y grava gruesa.

Palabras clave: <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <AGUA RESIDUAL>, <CURTIDO VEGETAL>, <CARACTERIZACIÓN>, <AIREACIÓN>, <COAGULACIÓN>, <FILTRO>



2085-DBRA-UTP-2023

SUMMARY / ABSTRACT

The wastewater treatment system from the vegetable tanning stage at the Núñez tannery was redesigned to comply with current environmental regulations, so the wastewater was characterized, and it was determined that the following parameters were outside the permissible limits: oils and fats 72,333 mg/L, sulfides 16.6 mg/L, pH 4.307, total suspended solids 1047 mg/L, total solids 1,757 mg/L, COD 19,467 mg/L and BOD 1,833 mg/L. The type of treatment was defined on the basis of the value obtained from the biodegradability index, which was 0.042, and establishes that the treatment is physicochemical; therefore, it began with aeration of the wastewater for 3 hours, which helped to reduce sulfides, obtaining a removal percentage of 80.72%; the treatability was also carried out to precipitate the sludge, using 3 grams of lime P-24. The coagulation and flocculation were performed to the supernatant; 15 mL of aluminum sulfate (1 %) was used as coagulant at 100 rpm, while 2 mL of anionic polyelectrolyte (1 %) was used as flocculant at 30 revolutions for 15 minutes; it was left to settle for 3 hours and the effluent passed through a filter composed of sand, granulated activated carbon, fine and coarse gravel. The wastewater obtained in this last step underwent physicochemical and microbiological characterization and it was verified that all the parameters were within the permissible limits. The redesign consists of a manual cleaning grid system, an aeration tank, a cylindrical settling tank with a truncated cone bottom and a filter composed of sand, granulated activated carbon, fine gravel and coarse gravel.

Key words: <TREATMENT>, <WASTEWATER>, <VEGETABLE TREATMENT>, <CARBONIZATION>, <AERING>, <COAGULATION>, <FILTER>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural muy importante, es el más usado por el ser humano para poder subsistir. Industrialmente, el agua es de gran valor, ya que es empleada en varios procesos, una de las industrias que requiere abundantes cantidades de agua es la industria de curtido de cueros.

Las industrias de curtiembres y tenerías se encargan de procesar y transformar pieles de animales en un material denominado cuero, el cual a través del tiempo conserva sus características como la flexibilidad y resistencia, este material es empleado principalmente en calzado, tapicería, etc. Uno de los procesos más contaminantes es el curtido de pieles, según el Ministerio de Salud y Protección Social las pieles una vez han sido limpiadas de sus carnazas, grasas y lanas, son sometidas a una serie de tratamientos químicos que interactúan con las fibras de colágeno para finalmente obtener cuero, en este proceso se generan grandes volúmenes de agua residual, por tal motivo es de vital importancia darle un correcto tratamiento a las aguas residuales antes de ser descargadas al sistema de alcantarillado.

La tenería Núñez es una empresa ubicada en la ciudad de Ambato, en ella se llevan a cabo todas las etapas de producción para obtener cuero, la empresa procesa alrededor de 200 bandas mensualmente. A pesar de que en la empresa se realiza un tratamiento físico, la principal problemática ambiental que tiene es el alto contenido de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) en las aguas residuales.

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales tiene la finalidad de reducir los contaminantes químicos, para asegurar una buena calidad de agua que va a ser vertida al sistema de alcantarillado, a la vez respetar el medio ambiente y que todos los parámetros estén dentro de los límites permisibles que se encuentran en el Anexo I del Acuerdo Ministerial 097 A. Tabla 8 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La empresa "Tenería Núñez" está ubicada en la ciudad de Ambato, en la Parroquia Totoras, Barrio El Mirador, su propietario es el Señor Carlos Bolívar Núñez, la empresa como tal inició sus actividades el enero del 2012.

Al ser una zona rural de Ambato, la parroquia Totoras tiene actividades económicas como la producción agrícola, artesanal y de comercialización. Las empresas que se encargan de la producción de cuero son las que mejor contribuyen al crecimiento socio económico de la provincia Según el informe difundido por la Asociación de Curtidores del Ecuador (ANCE), en la provincia de Tungurahua existen 57 empresas de curtiembre, representando el 80 % del total de curtiembres existentes en el Ecuador, este hecho muestra que es una fuente productiva del país y a la vez es un punto generador de contaminación ambiental.

La producción y transformación de piles en cuero exige grandes volúmenes de agua e insumos químicos. En la revista Greenpeace se menciona que se emplea aproximadamente 1000 litros de agua por cada cuero procesado, generando grandes volúmenes de aguas residuales. Como resultado del proceso de curtido se tienen aguas amoniacaes, dispersantes, enzimas, una gran cantidad de sólidos disueltos, etc. Los cuales contribuyen al aumento de la contaminación ambiental, además emanan fuertes olores que pueden ocasionar graves problemas a la salud tanto a los empleados como a las personas aledañas.

La Tenería Núñez emplea como agente curtiente compuestos taninos, estos compuestos no son tan contaminantes como lo es el cromo, sin embargo, el agua residual resultante de las diferentes etapas de curtido es descargada al sistema del alcantarillado con altos valores en lo que respecta al contenido de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno). La empresa cuenta con un sistema físico para el tratamiento de estas aguas residuales, no obstante, los valores de DBO y DQO siguen estando fuera de los límites permisibles dentro de la normativa ambiental vigente para descarga de fluidos al sistema de alcantarillado público.

1.2 Planteamiento del problema

En el Ecuador entre empresas grandes, medianas y pequeñas, existe aproximadamente 80 curtiembres, del total de la actividad de curtiembre aproximadamente el 80 % lleva a cabo sus actividades en la provincia de Tungurahua, en la cual se procesa el 90% del cuero y el 67% del calzado a escala nacional, este hecho da a entender que es una fuente productiva para el país, pero a la vez se convierte en un foco generador de contaminación ambiental (Silva y Salinas, 2022). Además, se debe tener en cuenta que más del 70 % de las aguas residuales son devueltas al medio ambiente (ríos, mares o tierra), esto impacta de manera negativa en la salud pública, la preservación de recursos naturales, el medio ambiente y en la economía del país, ya que en muchos casos el costo de impacto generado por los residuos supera la inversión necesaria para depurar las propias aguas residuales.

Con respecto al proceso de curtido, este comprende el uso de excesivas cantidades de agua las cuales contienen insumos químicos, aguas amoniacales, dispersantes, entre otros. Mientras que las sustancias químicas que se añaden al proceso de curtiembre se solubilizan en el agua y posteriormente se desecha, como consecuencia se tiene alto contenido de materiales en suspensión, pH básicos, incremento en la demanda química y bioquímica de oxígeno siendo esto una gran problemática ambiental dentro de la Industria de Curtiembre.

Actualmente en la Tenería Núñez pese al tratamiento físico que existe, en el proceso de curtido la DQO tiene un valor de 23 900 mg/l, mientras que la DBO tiene un valor de 1 000 mg/l, estos valores sobrepasan en gran medida los límites permisibles de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público que es 500 mg/l y 250 mg/l respectivamente según el Acuerdo Ministerial 097 A. Por tal motivo se requiere un rediseño en la planta de tratamiento de aguas residuales en la Tenería Núñez usando una metodología nueva para la disminución de la demanda química y bioquímica de oxígeno para asegurar una buena calidad de vertido a la vez respetar el medio ambiente y cumplir con las normas legales.

1.3 Justificación

Hoy por hoy el tratamiento de aguas residuales provenientes de las curtiembres se ha convertido en algo prioritario debido a los efectos negativos causados por la contaminación. Es primordial tratar las aguas residuales para defender la salud de las personas, conservar el medio ambiente, evitar malos olores y gases dañinos, además un correcto tratamiento de aguas residuales contribuye a la conservación de ríos y mares, reduciendo los niveles de contaminación.

Es importante realizar un rediseño en la Tenería Núñez ya que los datos de la demanda química y bioquímica de oxígeno están fuera de los límites permisibles y son valores muy críticos, además el tratamiento de efluentes no disminuye significativamente los índices de contaminación ambiental nocivos para personas, animales y vegetales que habitan en el entorno. Cabe mencionar que el rediseño se realizará para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de curtido, con el rediseño se desea llevar a cabo un óptimo procesamiento de efluentes antes de su descarga al sistema de alcantarillado, de este modo se disminuirá la cantidad de sustancias químicas empleadas en las diferentes etapas de transformación del cuero y disminuirá el impacto ambiental fortaleciendo las políticas de responsabilidad social.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Rediseñar el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Tenería Núñez ubicada en la Ciudad de Ambato.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de la operación de curtido basada en la Tabla 8. Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua según el Acuerdo Ministerial 097 A.
- Llevar a cabo pruebas de tratabilidad para las muestras que se encuentren fuera de la norma.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Validar el rediseño propuesto considerando la caracterización del agua tratada en base a la Tabla 8 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público). Anexo I del Acuerdo Ministerial 097 A.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

De acuerdo con Ilbay (2021, pp. 39-42), en su proyecto de análisis de tratamiento de aguas residuales en la industria del curtido alude que el factor primordial de la contaminación presente en efluentes provenientes de la industria de la curtiembre es de tipo biológico, en donde la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) son los parámetros de control más cruciales. El autor empleó un tratamiento biológico que incluye un sistema de tratamiento de lodos activados para regular los valores de DQO y DBO, el sistema consta de un reactor con un sistema de aireación y un sedimentador, como resultado el autor obtuvo un valor de 128,85 mg/L para la DBO, mientras que para la DQO obtuvo 372,28 mg/L, cumpliendo con los límites de la normativa nacional (TULSMA) (Ilbay, 2021).

En el proyecto de investigación de Lombeida (2017, pp. 48-56), se menciona que el tratamiento primordial al tratar aguas residuales provenientes de curtiembres es el de coagulación y floculación y tras realizar varias pruebas de jarras, determinó que el mejor coagulante es el sulfato de aluminio al 10%, en cuanto que la poliacrilamida al 1% sirve como floculante y la dosificación adecuada comprende 30 mL de sulfato de aluminio con 10 mL de poliacrilamida. Como resultado el autor comprobó que todos los parámetros como pH, turbidez, DQO y DBO están dentro de los límites establecidos por el TULSMA.

Según Garcia y Ramírez (2019, p.79), en su estudio acerca de la evaluación del sistema de aguas residuales de curtiembre y marroquinería, señalan que para tener un óptimo resultado en cuanto al coagulante y floculante se debe realizar una neutralización previo a la realización de la prueba de jarras, para ello usó hidróxido de sodio con una concentración de 199.985 mg/L y una muestra de 500 mL. Como agente coagulante empleó 800 mg/L de sulfato de aluminio y como agente floculante utilizó 60 mg/L de poliacrilamida, con ello logró remover alrededor del 50% de DQO y 80% de sólidos suspendidos totales (SST) (Garcia y Ramírez, 2019).

En el estudio de Saran et al., (2023, pp. 2-4), para el tratamiento de aguas residuales emplean la tecnología novedosa de celdas de combustible microbianas (MFC), esta tecnología es completamente nueva y permite eliminar materiales orgánicos, contaminantes inorgánicos y, además, genera bioelectricidad. Los exoelectrónos se emplean para la producción de bioenergía

y sirve como mecanismo de reducción de Cr 6+ que es muy tóxico a Cr 3+ menos tóxico (Saran et al., 2023)

En el trabajo de Moposita (2021, pp. 64-73), para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales propuso implementar un sistema que conste de: lechos de secado, rejillas, trampa de grasa, canales de entrada, tanque de homogenización, aireación, sedimentación y un tanque para almacenar el agua tratada. En lo que respecta a la operación de coagulación-floculación empleó como coagulante el policloruro de aluminio para la etapa de curtido vegetal, con el cual obtuvo porcentajes de remoción de para la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 93,03% mientras que para Demanda Química de Oxígeno se obtuvo un porcentaje de remoción de 96,03%. Además, el autor menciona que para tratar las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido se emplea policloruro de aluminio (PAC) al 1 % (100ppm) como coagulante, además usa floculante aniónico polielectrolito al 1% (10 ppm) y mediante ensayos se caracterizó el agua tratada obteniendo como resultado que la mayor parte de los parámetros se encontraban dentro de los límites permisibles de la Normativa Ambiental Vigente (TULSMA) (Moposita, 2021).

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Sistema de tratamiento

Un sistema de tratamiento es un conjunto de procesos y tecnologías diseñados para eliminar o reducir los contaminantes presentes en un determinado tipo de agua, ya sea aguas residuales, aguas superficiales (como ríos o lagos), aguas subterráneas o aguas potables. El objetivo principal de un sistema de tratamiento es mejorar la calidad del agua para que sea adecuada para un uso específico o para su devolución segura al medio ambiente.

En todo proceso industrial es imprescindible un sistema de tratamiento, en el cual se traten con diversos medios los residuos o sustancias contaminadas con el fin de purificar sustancias que son reutilizables en el proceso o vertido al medio ambiente. Entre los sistemas de tratamiento se encuentra: tratamiento de aguas residuales, efluentes y agua.

En el presente proyecto se enfocará únicamente en el sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de curtido, el cual tiene como objetivo principal eliminar la mayor cantidad posible de sólidos en suspensión antes de que el agua restante, denominada efluente, sea vertida. Por medio de una serie de procesos químicos o biológicos se tratará el agua para que pueda ser vertida al sistema de alcantarillado con todos los parámetros dentro de la Normativa TULSMA.

2.2.2 *Aguas residuales*

También conocidas como aguas servidas o aguas negras, son aguas que han sido utilizadas en diversos procesos humanos, industriales o comerciales y que, como resultado, contienen una variedad de contaminantes y sustancias no deseadas. Las aguas residuales pueden ser:

- **Aguas residuales domésticas:** Se originan en actividades como el uso de baños, preparación de alimentos, lavado de ropa, etc.
- **Aguas residuales comerciales de fuentes no domésticas:** Se originan en alones de belleza o talleres de reparación de carrocerías de automóviles, etc. Estas aguas residuales pueden contener materiales peligrosos y requieren un tratamiento o eliminación especial.
- **Aguas residuales industriales:** Son aguas contaminadas que provienen de procesos y actividades industriales. Estas aguas suelen contener una variedad de sustancias químicas, materiales orgánicos, metales pesados y otros contaminantes que se generan como resultado de la producción, manufactura y operación de instalaciones industriales.

2.2.3 *Curtiembre*

Una vez se obtiene los cueros, deben ser tratados con sal para que puedan conservarse en buen estado y evitar la putrefacción.

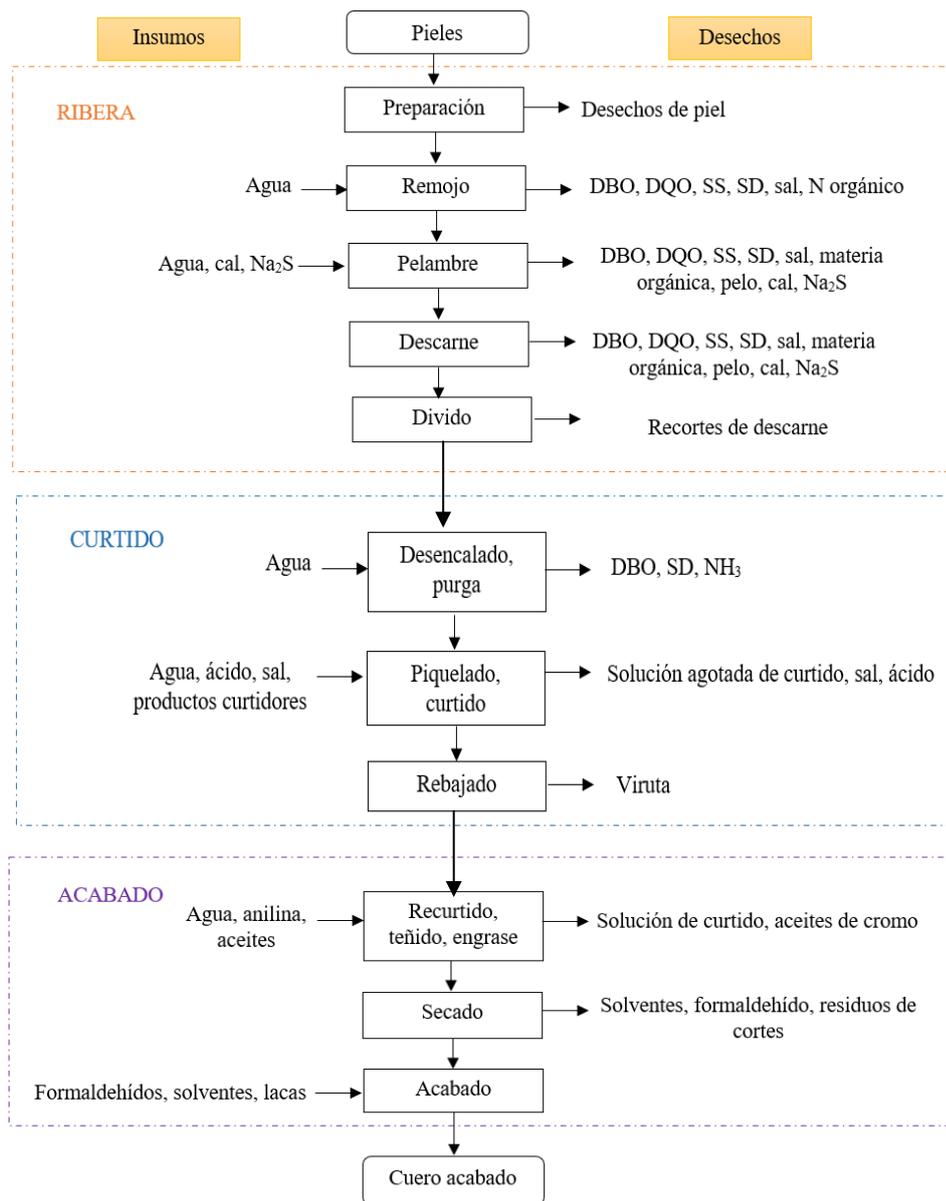


Ilustración 2-1: Diagrama del proceso de obtención de cuero

Fuente: (Fúquene, 2011, p. 27).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023

2.2.3.1 Ribera

Tiene como objetivo principal preparar y depurar la piel, eliminando todo tipo de impurezas, asimismo asegura la humedad requerida para los posteriores procesos (López, 2019, p. 32-33).

- a) **Preparación de pieles:** Se refiere a la entrada y entrega de la piel animal a la planta de curtición.
- b) **Remojo:** El remojo es un proceso para rehidratar la piel y prepararla para el curtido, aquí influye mucho el estado de conservación de las pieles. Comprende dos etapas: una de limpieza

y una de humectación, se puede agregar auxiliares como tensoactivos, enzimas de remojo, etc. su proceso puede durar algunas horas o algunos días.

- c) **Pelambre:** Después de que las pieles estén hidratadas, se elimina la raíz del vello, la lana y la cutícula, también se lleva a cabo un aflojamiento de la estructura de fibra. Es de vital importancia dividir las fibrillas y las fibras para dar al cuero el grado de elasticidad deseado.
- d) **Descarne:** Puede llevarse a cabo tanto mecánica como manualmente, su importancia radica en que, en la endodermis quedan restos del tejido subcutáneo, grasas u otro elemento indeseable de la piel que deben ser eliminados para evitar que se desarrollen bacterias sobre la piel.
- e) **Dividido:** Consiste en el recorte de la parte del cuero que queda descubierto al eliminar el pelo o lana.

2.2.3.2 *Curtido*

- a) **Desencalado:** En esta etapa se lava la piel con el fin de remover la cal y el sulfuro, se utiliza grandes volúmenes de agua y para ello se emplean sustancias químicas como ácidos orgánicos tamponados, sales de amonio, bisulfito de sodio, peróxido de hidrógeno, melazas y azúcares (Ministerio del Ambiente, 2012, p. 129).
- b) **Piquelado:** Tiene como fin acondicionar las pieles para la fase de curtido, preservar las pieles para que puedan ser guardadas hasta un año sin sufrir daños, y también detiene la acción de enzimas sobre el colágeno al exponerlo a un tratamiento ácido en solución salina.
- c) **Curtido:** En este proceso se modifica la piel en un producto que se puede preservar en el tiempo y que dispone de propiedades como la durabilidad y elasticidad que lo convierten en un producto de alto valor comercial y estético.
- d) **Rebajado:** En esta etapa se obtiene el grosos que realmente se requiere que permanezca en la piel.

2.2.3.3 *Acabado*

- a) **Teñido:** Se emplean elevadas temperaturas y tintes que pueden ser con base de anilina.
- b) **Engrase:** La operación de engrase se lleva a cabo con el fin de obtener un cuero flexible y de tacto suave, su función es evitar que el cuero se seque.
- c) **Secado:** La velocidad de secado es muy importante: a velocidades muy rápidas la superficie puede secarse mientras las partes interiores se mantienen húmedas (Ministerio del Ambiente, 2012, p. 132).

2.2.4 Tipos de curtido

Existen diferentes tipos de curtido utilizados en la industria del cuero, cada uno con características y aplicaciones específicas. A continuación, se mencionan dos tipos de curtido considerados como los más importantes:

2.2.4.1 Curtido al cromo

Es el método más comúnmente utilizado en la industria del cuero debido a su rapidez y eficiencia. En su proceso, emplea sales de cromo para estabilizar las proteínas del cuero y mejorar su resistencia al agua y la putrefacción. El resultado es un cuero resistente, suave y de amplia aplicación, que se utiliza en una variedad de productos, como prendas de vestir, calzado, etc. Es importante mencionar que este tipo de curtido es el más contaminante por efecto tóxico del cromo (Cr) (Ministerio del Ambiente, 2012, p. 130).



Ilustración 2-2: Curtido al cromo

Fuente: (Jaramillo, 2021, p. 18)

Si bien el curtido al cromo es ampliamente utilizado debido a su eficiencia y versatilidad, también presenta algunas desventajas que vale la pena mencionar:

- **Impacto ambiental:** El proceso de curtido al cromo puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. El cromo hexavalente, una forma química del cromo utilizada en el curtido, es altamente tóxico y puede causar contaminación del suelo y del agua si no se gestiona adecuadamente. Los efluentes del proceso de curtido al cromo requieren un tratamiento especial para evitar la liberación de cromo al medio ambiente.

- **Riesgos para la salud:** Tanto los trabajadores de la industria del curtido como las comunidades cercanas a las fábricas de curtido al cromo pueden estar expuestos a riesgos para la salud. La exposición al cromo hexavalente puede causar problemas respiratorios, dermatitis y otros trastornos de salud. Es importante tener precauciones adecuadas y seguir los protocolos de seguridad para minimizar los riesgos.
- **Resistencia al desgaste:** Aunque el curtido al cromo produce un cuero duradero y resistente, tiene una menor resistencia al desgaste en comparación con otros tipos de curtido, como el curtido vegetal. El cuero curtido al cromo puede ser propenso a la decoloración, las grietas y la pérdida de flexibilidad con el tiempo.
- **Limitaciones en la personalización:** El curtido al cromo puede dificultar la personalización y el acabado del cuero. Debido a la estabilidad del curtido, el cuero no acepta fácilmente ciertos tratamientos, como tintes vegetales y acabados naturales. Esto limita las opciones de color y acabado disponibles para los fabricantes y diseñadores de cuero.
- **Preferencia por cueros más naturales:** En los últimos años, ha habido una creciente demanda de productos de cuero más sostenibles y naturales. Algunos consumidores prefieren evitar el curtido al cromo debido a las preocupaciones ambientales y de salud asociadas. En respuesta a esta demanda, se han desarrollado alternativas más ecológicas, como el curtido vegetal y el curtido al vegetal aldehído, que utilizan métodos más naturales y menos tóxicos.

2.2.4.2 *Curtido vegetal*

El curtido vegetal emplea taninos naturales (extractos vegetales), generalmente derivados de la corteza de árboles, para convertir las pieles en cuero. Los taninos son compuestos naturales que se encuentran en diversas plantas, como la corteza de árboles, y tienen la capacidad de unirse a las proteínas del cuero, convirtiéndolo en un material resistente, flexible y duradero.



Ilustración 2-3: Taninos naturales

Fuente: (Jaramillo, 2021, p. 18)

El curtido vegetal es un proceso lento, pero produce cueros flexibles, duraderos y de alta calidad. Se lo utiliza en productos como calzado de alta gama, marroquinería y artículos de lujo. En el proceso de curtido vegetal, se utilizan taninos naturales, estos taninos tienen la propiedad de reaccionar con las proteínas en la piel de los animales, transformándola en cuero. A lo largo del proceso, las pieles son sumergidas en soluciones acuosas de taninos y se someten a diversas etapas de tratamiento, como remojo, prensado y secado. El resultado es un cuero con propiedades naturales, un aspecto más mate y una mayor capacidad de envejecimiento y desarrollo de patina con el tiempo.



Ilustración 2-4: Curtido al cromo

Fuente: (Jaramillo, 2021, p. 18)

Este tipo de curtido presenta varias ventajas, especialmente en términos de sostenibilidad, calidad del cuero y propiedades naturales:

- **Sostenibilidad:** El curtido vegetal utiliza taninos naturales derivados de fuentes vegetales renovables, como la corteza de árboles. En comparación con el curtido al cromo, que utiliza productos químicos sintéticos, el curtido vegetal es considerado más ecológico y sostenible. Los taninos son biodegradables y no causan la misma contaminación ambiental que los productos químicos utilizados en otros métodos de curtido.
- **Propiedades naturales:** El curtido vegetal permite mantener las propiedades naturales del cuero. El uso de taninos naturales realza la belleza del cuero, resaltando sus características únicas y manteniendo su aspecto y tacto natural. El cuero curtido vegetal tiende a ser más cálido, suave y transpirable en comparación con el cuero curtido químicamente.
- **Durabilidad y resistencia:** El cuero curtido vegetal es conocido por su durabilidad y resistencia. Los taninos naturales forman enlaces fuertes con las fibras de colágeno en el cuero, lo que resulta en un cuero más resistente al desgaste, al estiramiento y al rasgado.

- **Biocompatibilidad y hipoalergenicidad:** El cuero curtido vegetal es más adecuado para personas con sensibilidad o alergias a los productos químicos utilizados en otros métodos del curtido. Al ser un proceso más natural, el cuero curtido vegetal tiende a ser más biocompatible y menos propenso a causar irritaciones en la piel.

Es importante tener en cuenta que el proceso de curtido vegetal con taninos puede llevar más tiempo en comparación con otros métodos de curtido, como el curtido químico. Sin embargo, el resultado final es un cuero de alta calidad y con características naturales deseables.

2.2.5 Problemas ambientales de la industria curtiembre

2.2.5.1 Efluentes líquidos

En cada fase del proceso se generan aguas efluentes líquidos con diversos niveles de contaminación:

- a) Fase ribereña:** Efluentes líquidos con alto pH, alto contenido de cal y sulfatos libres, sulfuros y alta DBO a causa de la presencia de materia orgánica y grasas animales en los sólidos en suspensión producidos en el proceso.
- b) Remojo:** Los efluentes líquidos abarcan sal, sangre, suciedad, heces, sebo, aceite y grasa, lo que incrementa la DBO.
- c) Pelambre:** Eliminación de aguas residuales más concentradas de todas las sustancias producidas durante el proceso de fabricación del cuero (Pinedo, 2012, p. 35).

2.2.5.2 Residuos sólidos

Los residuos sólidos se originan durante las fases de descarnado, rebajado, dividido y lijado de los cueros y pieles. Los desechos de carne son tejidos y grasas biodegradables. Por otra parte, los residuos sólidos de otras etapas del proceso son principalmente virutas de cuero curtido y polvo. Dichos residuos se aglomeran junto a las cortadoras, amoladoras y lijadoras y, a menudo, se almacenan en bidones o al aire libre en las plantas de producción (Pinedo, 2012, p. 36).

2.2.5.3 Emisiones de gases

Debido a la inapropiada disposición de los residuos dentro y fuera de las tenerías y curtiembres, los malos olores y el aire pestilente son los principales factores de la transmisión de enfermedades y proliferación de vectores. La industria del curtido, tanto convencional como vegetal, puede generar una serie de gases y vapores que son potencialmente dañinos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan adecuadamente.

Para mitigar las emisiones de gases en una curtiembre, se pueden implementar medidas de control y tecnologías de tratamiento de gases, como sistemas de ventilación y filtración, para capturar y reducir la liberación de contaminantes a la atmósfera. Además, las regulaciones ambientales suelen establecer límites para las emisiones de gases y vapores en la industria del curtido, con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente.

2.2.5.4 Ruido

El ruido es el principal impacto de la curtiduría, este factor resulta muy molesto para las personas que viven alrededor, ya que las vibraciones fuertes pueden causar daños a la infraestructura, mientras que el ruido de los equipos y maquinarias puede generar contaminación acústica (Pinedo, 2012, p. 37).

2.2.6 Parámetros utilizados en la caracterización de las aguas residuales

Tabla 2-1: Parámetros organolépticos

Parámetro	Descripción
Olor	Las aguas residuales suelen ser de color gris y se vuelven gris oscuro y luego negras a medida que el agua envejece. El color negro de las aguas residuales sépticas se debe en su mayoría a la formación de sulfuros metálicos.
Color	Es una cualidad subjetiva y son difíciles de medir. El olor difícilmente es una indicación de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero puede indicar una actividad biológica significativa.

Fuente: (Lombeida, 2017, p. 35);

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 2-2: Parámetros químicos

Parámetro	Descripción
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Indica el contenido de materia orgánica oxidable y otras sustancias reductoras como Fe, NH ₄ , etc. La oxidación tiene lugar bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, de manera que las sustancias orgánicas se transforman en dióxido de carbono y agua.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante la biodegradación aeróbica de la materia orgánica durante un período de 5 días. El oxígeno consumido por los organismos determina los nutrientes al utilizar la materia orgánica de los desechos como alimento en condiciones aeróbicas favorables.
Potencial Hidrógeno (pH)	Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno e hidróxido y se define como: $pH = \log (1/[H^+])$. Es muy importante en el tratamiento de aguas como factor adicional a los coagulantes y floculantes, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión, rango de pH favorable a los microorganismos en procesos biológicos en aguas residuales, etc.
Oxígeno disuelto	Depende de las actividades físicas, químicas y bioquímicas del sistema de agua. El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como de otras formas de vida, pero el oxígeno es solo ligeramente soluble en agua.
Alcalinidad	La alcalinidad es un parámetro particularmente útil para monitorear la estabilidad de los biorreactores anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales, además puede ser beneficiosa ya que proporciona un amortiguador contra los cambios de pH
Sulfatos	Están muy extendidos en la naturaleza y corresponden a sales moderadamente solubles a altamente solubles. Algunos compuestos orgánicos contienen azufre, que se oxida por completo durante el procesamiento, lo que da como resultado la liberación de azufre en forma de iones de sulfato.
Cloruros	El ion cloruro (Cl ⁻) es uno de los aniones más comunes en las aguas residuales. El sabor del agua resultante varía según el catión dominante: si el catión es sodio, produce un sabor salado en el agua a concentraciones superiores a 250 mg/l.
Carbono orgánico total (COT)	El carbono orgánico mide directamente el contenido de materia orgánica en las emisiones.

Fuente: (Méndez et al., 2017, p. 25-32).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023

Tabla 2-3: Parámetros físicos

Parámetro	Descripción
Temperatura	El monitoreo de la temperatura de las aguas residuales puede ayudar a determinar la solubilidad del oxígeno, lo que afecta la capacidad de suministro del equipo de aireación y la tasa de actividad biológica en un sistema aeróbico. Las temperaturas extremadamente bajas pueden afectar negativamente la eficiencia de los sistemas de tratamiento biológico y la eficiencia de la sedimentación.
Turbidez	La presencia de sólidos coloidales confiere al líquido un aspecto turbio, poco atractivo y potencialmente nocivo. La turbidez del agua puede ser causada por partículas de arcilla y limo, descargas de aguas residuales, desechos industriales o la presencia de un gran número de microorganismos.
Conductividad	Depende de la cantidad de sales disueltas presentes. Generalmente se lo determina utilizando electrodos comerciales. La mayoría de las soluciones de ácidos, álcalis y sales tienen buena conductividad, mientras que la conductividad molecular de los compuestos orgánicos que no se disocian en solución acuosa tiene poca o ninguna conductividad.
Sólidos Totales	Los sólidos totales incluyen sólidos suspendidos y sólidos disueltos, además pueden consistir en materiales orgánicos e inorgánicos.
Sólidos Suspendidos	Son partículas individuales que se pueden medir filtrando la muestra a través de papel fino.
Sólidos Disueltos	Se deben a la presencia de sustancias solubles, se incluyen materiales tanto orgánicos como inorgánicos.

Fuente: (Ocles, 2019, p. 33); (Méndez et al., 2017, p. 22-24).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

2.2.7 Tratamientos de aguas residuales provenientes del proceso de curtiembre

El grado de dificultad del sistema de tratamiento de aguas residuales depende de los objetivos propuestos. Dada la gran cantidad de operaciones y procesos que se pueden utilizar para tratar las aguas residuales, se acostumbra a hablar de niveles de tratamiento, que en la práctica se dividen en las siguientes categorías: tratamiento preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o tratamiento avanzado (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20).

2.2.7.1 Pretratamiento

Su propósito es retener sólidos gruesos y sólidos finos que son más densos que el agua y la arena para facilitar el procesamiento posterior. Utilice canales con mallas gruesas y finas, trampas de arena y, en casos especiales, sal. Estos dispositivos a veces se pasan por alto en el diseño de plantas de tratamiento, pero son necesarios para evitar problemas causados por arena, escombros, plástico, etc. entrando en el propio proceso de purificación (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20).

Tabla 2-4: Operaciones que abarca el pre-tratamiento

Operación	Descripción
Cribado o desbaste	Se utiliza para eliminar contaminantes y residuos voluminosos. Además, permite retener los sólidos gruesos (sólidos flotantes) con diámetros de 50 – 10 mm.
Desarenado	Las partículas arenosas y demás sólidos decantan hacia el fondo del desarenador esto se produce gracias al efecto de la gravedad.
Desengrasado	Se emplea en grandes plantas de procesamiento. En este tipo de canales de aireación, además de eliminar arena y otras partículas de similar densidad, también eliminan grasas, aceites, espumas y otros materiales líquidos que interfieren en el procesamiento posterior e incluso favorecen la aparición de organismos filamentosos. De este modo, la acción del aire permite que los aceites y grasas floten.

Fuente: (Ibarra, 2020, p. 37); (Buenaño, 2019, p. 37).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

2.2.7.2 Tratamiento primario

La planta de tratamiento primario es cualquier sistema capaz de eliminar del agua sólidos en suspensión distintos de los sólidos coloidales o disueltos. El tratamiento primario de eliminación puede así eliminar del 60% al 70% del total de sólidos en suspensión y hasta el 30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20).

Tabla 2-5: Operaciones que abarca el tratamiento primario

Operación	Descripción
Neutralización	Comprende todos los tratamientos para que el valor de pH de las aguas residuales sea próximo a la neutralidad o al equilibrio, ya que, el agua residual al inicio puede ser ácida o alcalina.
Homogenización	Implica mezclar las aguas residuales para evitar la sedimentación, la estratificación y la formación de olores. Además, ayuda a amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el fin de conseguir un caudal constante o casi constante.
Sedimentación	Se utiliza para eliminar material por sedimentación, que se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido en el que están presentes, formando finalmente un depósito de material en suspensión. Este proceso depende de los pesos específicos de los sólidos ya que esta determinará su comportamiento.
Coagulación-Floculación	Tiene como fin eliminar partículas coloidales y sólidos en suspensión. La coagulación logra la desestabilización de las partículas que se encuentran en suspensión coloidal, mientras que la floculación permite que esas partículas desestabilizadas se agrupen en flóculos para poder decantar a manera de lodo y luego ser filtradas.
Precipitación química	Es la técnica más empleada para la separación de metales (iónicos) de soluciones que contienen metales tóxicos, como las aguas residuales de proceso. Los metales iónicos se transforman en formas insolubles mediante reacciones químicas entre compuestos metálicos solubles y precipitantes.
Filtración	Se encarga de canalizar el agua a través de un medio poroso para retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión, permitiendo el paso de líquidos mientras retiene los sólidos.

Fuente: (Bermeo, Bonilla y Coloma, 2017, pp. 17-46).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

2.2.7.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se basa en la participación de procesos biológicos, que están dominados por reacciones bioquímicas producidas por microorganismos y eliminan de forma eficaz entre el 50 % y el 95 % de la DBO (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20).

Tabla 2-6: Operaciones que abarca el tratamiento secundario

Operación	Descripción
Tratamientos aerobios	Se basan en la capacidad de los microorganismos para descomponer la materia orgánica, utilizando el oxígeno como aceptor de electrones. En este tratamiento se aprovecha la capacidad de los microorganismos para asimilar la materia orgánica y los nutrientes disueltos en las aguas residuales para crecer. Esto requiere una alta eficiencia energética y formación de depósitos.
Tratamientos anaerobios	Se emplean tanto para las aguas residuales como para la digestión de lodos y permiten la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Esto hace que la producción de lodos sea muy baja.

Fuente: (Bermeo, 2016, p. 115); (Telwesa, 2021).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

2.2.7.4 *Tratamiento terciario*

El tercer tratamiento está diseñado para eliminar significativamente nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Por lo general, el propósito del tratamiento terciario es evitar la eutrofización o el crecimiento general de algas resultantes de la descarga de aguas residuales previamente tratadas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de bajo flujo, ya que esto absorbe oxígeno disuelto, lo que afecta la recepción de masas de agua por parte de los organismos acuáticos (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización del proyecto

El presente proyecto se realizó en la Tenería Núñez, la cual se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato y parroquia Totoras.

Tabla 3-1: Localización de la Tenería Núñez

Provincia	Tungurahua
Cantón	Ambato
Parroquia	Totoras
Altitud	2577 msnm
Latitud	1.31° S
Longitud	78.60° W
Temperatura	Temperatura promedio de 14.5 °C

Fuente: (Google Earth, 2023).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.



Ilustración 3-1: Localización de la Tenería Núñez

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.2 Ingeniería del Proyecto

3.2.1 Tipo de estudio

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Tenería Núñez ubicada en la ciudad de Ambato se trata de un proyecto de Tipo Técnico Sistemático, ya que incluye la revisión de normativas ambientales, técnicas y metodología para el estudio y análisis de aguas residuales, con el fin de determinar las variables y factores operacionales para el rediseño de la planta, con ello se logró minimizar los parámetros contaminantes y satisfacer las necesidades de la empresa.

3.2.2 Métodos

Para la realización del presente proyecto se empleó tres métodos: inductivo, deductivo y experimental.

3.2.2.1 Método Inductivo

Tiene como objetivo llegar a conclusiones de contenido más amplio, en comparación con el contenido de los supuestos que se sirven como base del pensamiento, es decir pasa de lo particular a lo general.

3.2.2.2 Método Deductivo

Puede conceptualizarse como una cadena de razonamiento lógico que comienza con un análisis del conocimiento general hacia el conocimiento específico. Una vez hecho esto, los hechos comienzan a analizarse en detalle, de modo que el conocimiento general se convierte en específico a medida que se profundiza en los argumentos y hechos investigados.

3.2.2.3 Método Experimental

Tiene como enfoque plantear un experimento, llevarlo a cabo y medir los resultados, es decir se trata de un procedimiento práctico, porque se lo ejecuta en el laboratorio a través de materiales y equipos.

3.2.3 Técnicas

Son el conjunto de normas, protocolos y procedimientos que se implementan para alcanzar un resultado, en este caso las técnicas sirvieron para cumplir con el objetivo de este proyecto que es rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales. A nivel de laboratorio se emplearon los siguientes métodos normalizados: APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Las técnicas usadas en el siguiente proyecto son:

- NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.
- NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

3.2.3.1 Técnicas de laboratorio

A continuación, se detallan las técnicas que se emplearon en el laboratorio para determinar los parámetros como: conductividad, DBO₅, temperatura, turbiedad, DQO, sulfuros, etc.

Tabla 3-2: Determinación de conductividad

Fundamento	
La conductividad expresa numéricamente la capacidad que posee una solución para conducir corriente eléctrica.	
Método	
2510 B. Métodos de laboratorio y de campo	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Vasos de precipitación• Pizeta• Toalla• Conductímetro	<ul style="list-style-type: none">• Agua residual• Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none">• Homogenizar la muestra.• Agregar 50 mL de agua residual en el vaso de precipitación.• Lavar los electrodos con agua destilada.• Introducir los electrodos en el vaso de precipitación que contiene la muestra y medir la conductividad.	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente del equipo.	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp. 225-228).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-3: Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Fundamento	
El DBO ₅ corresponde a la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante el proceso de degradación de sustancias orgánicas que contiene la muestra a estudiar.	
Método	
Incubación por 5 días	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Balón aforado de 250 mL • Probeta de 250 mL • Pipeta graduada de 10 mL • Cabezales de medición • Tapa de sello • Agitador magnético • Incubadora termostáticamente a 20±1°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Agua destilada • Pastilla de hidróxido de potasio (KOH) • Bolsa de solución de tampón de nutrientes
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • En un balón aforado colocar 10 mL de agua residual sin tratar y diluir en 100 mL de agua destilada. • Repetir el paso anterior hasta conseguir 200 mL de la muestra diluida. • Colocar 150 mL de la muestra diluida en una botella winkler. • Agregar una bolsa de nutrientes, colocar el agitador magnético. • Colocar una pastilla de hidróxido de potasio (KOH) en la tapa y cerrar la botella. • Enroscar el cabezal de medición y encender el equipo. • Colocar la botella en una incubadora para que permanezca allí por 5 días. • Anotar los resultados obtenidos una vez que ha transcurrido los 5 días. 	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente del equipo en mg/L	

Fuente: (HACH, 2000, p. 575-582).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-4: Determinación de la temperatura

Fundamento	
La lectura de cifras de temperatura se utiliza en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio.	
Método	
2550 B. Métodos de laboratorio y de campo	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Termómetro Celsius de mercurio 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Sumergir el bulbo del termómetro en la muestra. • Esperar estabilización y anotar los resultados. 	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente en °C.	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p. 251).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-5: Determinación del pH

Fundamento	
El pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno. Además, el pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia.	
Método	
4500- H ⁺ B. Método electrométrico	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Medidor de pH • Electrodo de referencia • Electrodo de vidrio • Vasos de precipitación de 100 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar el medidor de pH. • Establecer el equilibrio entre electrodos y muestra, para ello se debe agitar con el fin de asegurar su homogeneidad. • Esperar a que se estabilice. • Anotar el resultado. 	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente del equipo.	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp. 575-583).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-6: Determinación de turbiedad

Fundamento	
La turbiedad mide el nivel en el que el agua pierde su transparencia a causa de la existencia de partículas en suspensión.	
Método	
2130 B. Método nefelométrico	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro • Tubos de muestra • Pizeta 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar el turbidímetro. • Si se trata de medida de turbideces menores de 40 NTU: Agitar la muestra con mucho cuidado. • Si se trata de medida de turbideces superiores a 40 NTU: diluir la muestra con varios volúmenes de agua libre de turbidez hasta llegar a 30-40 NTU. 	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente del equipo en NTU.	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp. 176-178).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-7: Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

Fundamento	
La DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica por medios químicos.	
Método	
Método de digestión/colorimétrico	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta de 5 mL • Gradilla • Toalla • Vaso de Precipitación de 1000mL • Reactor DQO • Espectrofotómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Homogenizar la muestra de agua residual durante 30 segundos. • Conectar el reactor DQO y precalentar a 150°C. • Escoger el tipo de tubo de reactivo de DQO. • Con ayuda de la pipeta adicionar 2 mL de la muestra de agua residual. • Colocar la tapa en el tubo que contiene el reactivo de DQO y la muestra de agua residual. • Rotular el tubo con una M. • Invertir suavemente varias veces para que se mezcle el contenido. • Repetir los pasos anteriores para preparar el blanco, pero en este caso se usa 2 mL de agua destilada. • Rotular el blanco con una B. • Colocar los tubos en el reactor y presionar la tecla STAR por un tiempo de 120 minutos. • Transcurrido ese tiempo se debe apagar el equipo y dejar enfriar por aproximadamente 15 minutos. • Extraer los tubos del reactor y colocar en una gradilla hasta que alcancen la temperatura ambiente. • Encender el espectrofotómetro y en programas seleccionar para DQO. • Limpiar correctamente la parte externa de los tubos, primero colocar el tubo B en el equipo y presionar la tecla cero, esperar hasta que se estabilice. • Colocar el tubo M en el equipo, presionar READ, esperar hasta que se estabilice. • Anotar los resultados de la lectura del equipo. 	
Cálculos	
Los resultados se leen directamente del equipo en mg/L	

Fuente: (HACH, 2000, p. 182-189).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-8: Determinación de sólidos totales

Fundamento	
Los sólidos totales son aquellos residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.	
Método	
2540 B. Sólidos totales secados a 103-105 °C	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Placas de evaporación • Horno de mufla • Desecador • Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C • Baño de vapor • Balanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Pesar la placa antes de utilizarla. • Elegir el volumen de muestra y transferirla en la placa. • Evaporar la placa al baño vapor hasta que se seque la placa. • Colocar la muestra en el horno de secado durante una hora a 103-105°C. • Enfriar la placa en el desecador. • Pesar la placa en la balanza analítica. • Repetir el proceso hasta obtener un peso constante. 	
Cálculos	
$mg \text{ de ST/l} = \frac{(A - B) \times 1000}{ml \text{ de muestra}}$	
<p>Donde: A= peso de residuo seco + placa en mg B= peso de la placa en mg</p>	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp. 240-243).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-9: Determinación de sulfuros

Fundamento	
La presencia de sulfuros en las aguas residuales procede en general de la descomposición de materia orgánica, ocasionando mortandad a la fauna y flora.	
Método	
4500-S ² - E. Método yodométrico	
Materiales y equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Bureta de 10 mL • Probeta de 100 mL • Erlenmeyer de 250 mL • Gotero • Pipeta volumétrica de 25 mL • Pera de succión 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual • Ácido clorhídrico 6 N • Solución patrón de yodo 0,025 N • Solución patrón tiosulfato de sodio 0,025 N • Solución de almidón
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Tomar 25 mL de la muestra de agua residual y colocar en el Erlenmeyer. • Adicionar 2 mL de HCl (6 N) • Adicionar 5 mL de la solución patrón de yodo 0,025 N. Si desaparece el color del yodo se debe adicionar más para mantener el color. • Titular con tiosulfato de sodio 0,025 N hasta un color amarillo pálido. • Al acercarse al punto final, agregar unas gotitas de almidón. • Seguir titulando con tiosulfato de sodio hasta tener un color transparente. 	
Cálculos	
$mgS^{-2}/l = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] \times 16.000}{mL \text{ de muestra}}$	
<p>Donde: A= mL solución de yodo B= normalidad de la solución de yodo C= mL solución de tiosulfato de sodio D= normalidad de la solución de tiosulfato de sodio</p>	

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p. 690).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.3 Toma y monitoreo de muestras

La toma de muestras de aguas residuales provenientes del curtido vegetal en la Tenería Núñez se llevó a cabo de acuerdo con las normas NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:2013 que establece las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad de aguas residuales para su respectiva caracterización. Las muestras fueron tomadas directamente del tanque de almacenamiento del agua residual de curtido vegetal, previamente se homogenizó bien el agua para tomar muestras representativas.

Se realizó un muestro simple y la toma de muestras se llevó a cabo los días de producción en planta y se realizó durante tres meses, debido a que en la tenería el proceso de curtido no es continuo y más bien se trata de un proceso por lotes y se lo realiza cada 3 semanas.

Tabla 3-10: Recolección de muestras de agua residual de curtido vegetal

Lugar de muestreo	Tipo de efluente	Fecha y hora	Total de muestras
Tanque de almacenamiento de agua residual de curtido	Agua residual de curtido vegetal	24 de abril del 2023, 9:00 am	1
		29 de mayo del 2023, 9:00 am	1
		26 de junio del 2023, 9:00 am	1

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.3.1 Manejo y conservación de las muestras

El manejo y la conservación de las muestras se realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169: 2013 Agua. Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras. Dicha norma permite seleccionar el tipo de recipiente que va a contener la muestra, preparación de recipientes (los recipientes de muestreo deben estar correctamente limpios y esterilizados antes de ser utilizados), transporte de muestras, además, establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar en cuenta para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos.

Es importante preservar las muestras, es decir, mantener bajo determinadas condiciones fisicoquímicas como temperatura, pH, etc. con el fin de conservar la probidad e integridad del analito de interés desde su recolección hasta que se reporten los resultados.

Tabla 3-11: Técnicas generales para la conservación de muestras - análisis fisicoquímico

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación
Potencial de Hidrógeno	Plástico o vidrio	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C	6 horas
Aceites y Grasas	Vidrio lavado con solvente	1000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o H ₂ SO ₄	1 mes
Sulfuros	Plástico	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	1 semana
Sólidos Suspendidos Totales	Plástico o vidrio	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	2 días
Sólidos Totales	Plástico o vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	24 horas
Demanda Química de Oxígeno	Plástico o vidrio	1000	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Plástico o vidrio	1000	Se enfría a 1 °C y 5 °C	24 horas

Fuente: (NTE INEN 2169, 2013, pp. 8-16).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.3.2 Diagnóstico de la PTAR existente

Realizar un diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales existente en la Tenería Núñez ayudó a conocer en qué condiciones se encuentra la planta y que tan efectivo es el tratamiento físico que se lleva cabo en la misma. Cabe mencionar que el caudal en la Tenería es de 6 m³/día y el proceso de curtido se lo realiza por lotes, teniendo una producción de 200 pieles por cada mes, por otro lado, en la Tenería existe un sistema de tratamiento físico, el cual consta de un filtro improvisado de malla metálica, un tanque de almacenamiento y dos tanques de precipitación. Por medio de la toma de muestras se logró identificar el estado en el que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales, es importante mencionar que la toma de muestras antes y después del tratamiento se lo realizó el mismo día, los resultados se detallan a continuación:

Tabla 3-12: Eficiencia de la PTAR del agua de curtido vegetal

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Evaluación de la PTAR existente	% de remoción
Turbiedad	NTU	996	884	11,24 %
Sulfuros	mg/L	16,4	14,2	13,41 %
Demanda química de oxígeno	mg/L	18 300	18 000	1,64 %
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	2 900	2 700	6,90 %

Fuente: Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.3.3 *Caracterización del agua residual de curtido vegetal*

Las aguas residuales provenientes del proceso de curtido vegetal se analizaron en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y se identificó varios parámetros fuera de los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, entre ellos se encuentran: pH, aceites y grasas, sulfuros, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.

El tratamiento más apto para este tipo de aguas residuales se seleccionó una vez determinada la cantidad de contaminantes presentes en las descargas de agua residual en la Tenería Núñez, los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 8. Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Tabla 3-13: Resultados de la caracterización del agua residual de curtido de la Tenería Núñez

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización			Promedio
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Potencial de Hidrógeno	-	6 - 9	4,32	4,46	4,14	4,307
Color	Pt/Co	-	7 213	6 350	6 849	6 804
Conductividad	mSiems/cm	-	20,8	11,92	12,21	14,977
Aceites y Grasas	mg/L	70,0	70	75	72	72,333
Sulfuros	mg/L	1,0	17,6	16,4	15,8	16,600
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	220,0	1 380	840	920	1047
Sólidos Sedimentables	mL/L	20,0	15	12	13	12,500
Sólidos Totales	mg/L	1 600,0	19 960	16 592	16 240	17 597
Temperatura	°C	< 40,0	20	18	20,7	19,350
Turbiedad	NTU	-	1128	996	988	1037,33
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500,0	23 900	18 300	16 200	19 467
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	250,0	1 000	2 700	1 800	1 833
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	2 000	-	-	-	-

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023

3.3.4 Índice de biodegradabilidad

Al determinar el índice de biodegradabilidad se tiene una noción del tipo de tratamiento a emplear, esto depende del agua residual que se vaya a tratar. Para ello, se establece la relación entre la DBO5 y DQO, el resultado obtenido indica si se debe emplear un tratamiento biológico, fisicoquímico, o emplear los dos tratamientos a la vez con el fin de minimizar los contaminantes. En la siguiente tabla se muestran los rangos y su tratamiento correspondiente:

Tabla 3-14: Parámetro del índice de biodegradabilidad

DBO5/DQO	Biodegradabilidad	Tratamiento Adecuado
>0,8	Muy biodegradable	Posee materia bastante biodegradable, es apropiado emplear tratamientos biológicos.
0,7-0,8	Biodegradable	Tratamientos fisicoquímicos o biológicos.
0,3 – 0,7	Poco biodegradable	Posee materia no biodegradable, es idóneo emplear tratamientos fisicoquímicos, minimizando el uso de sistemas biológicos.
< 0,3	No biodegradable	Contiene materia inorgánica, es necesario emplear tratamientos fisicoquímicos.

Fuente: (Ardila et al., 2012, p. 4)

Realizado por: Landa, Mishell, 2023

Para determinar el índice de biodegradabilidad del agua residual de la etapa de curtido se tomó los resultados del DQO y DBO5 de la caracterización de la primera muestra, a continuación, se presentan los resultados:

Tabla 3-15: Relación del DBO5/DQO del agua de residual de curtido vegetal

Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado de la etapa de curtido vegetal
DBO5	mg/L	250	1000
DQO	mg/L	500	23 900
Relación entre DBO5/DQO			0,042

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

La relación del DBO5 y DQO da como resultado 0,042 lo cual indica que no es biodegradable ya que no existe la presencia de microorganismos y el pH es ácido, debido a eso la DBO es baja en comparación a la DQO, esto implica también la existencia de una contaminación inorgánica muy alta y es un medio muy hostil para los microorganismos, por ende, se debe llevar a cabo tratamientos fisicoquímicos.

3.4 Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad de agua residual son evaluaciones realizadas para determinar la viabilidad y eficacia de diferentes procesos de tratamiento en la depuración de aguas residuales. Estas pruebas se llevan a cabo antes de implementar un sistema de tratamiento a gran escala. El objetivo principal de las pruebas de tratabilidad es evaluar cómo reacciona el agua residual a

diferentes métodos de tratamiento y determinar qué proceso o combinación de procesos es capaz de eliminar o reducir eficientemente los contaminantes presentes en el agua residual.

Durante las pruebas de tratabilidad, se toman muestras representativas del agua residual y se someten a diferentes procesos de tratamiento a escala de laboratorio o piloto. Esto puede incluir procesos físicos, como la sedimentación o la filtración, procesos químicos, como la coagulación-floculación o la oxidación avanzada, y procesos biológicos, como la biodegradación o la digestión anaerobia.

3.4.1 Prueba de jarras

La prueba de jarras es una técnica utilizada en el tratamiento de aguas para evaluar la eficacia de los coagulantes y floculantes en la eliminación de sólidos suspendidos y otras impurezas presentes en el agua. En este ensayo, se toma una muestra representativa del agua a tratar y se coloca en una serie de jarras de vidrio. Luego, se agregan diferentes dosis de coagulante al agua y se mezcla suavemente. Después de la adición del coagulante, se agita suavemente el contenido de las jarras para fomentar la formación de flóculos. A medida que los flóculos se forman y crecen, las partículas suspendidas y otras impurezas se unen a ellos y se vuelven más pesados, lo que facilita su separación del agua tratada.

La prueba de jarras permite determinar la dosis óptima de coagulante y floculante requerida para lograr una eficiente remoción de sólidos suspendidos y otras impurezas en el agua. También puede ayudar a evaluar la eficacia de diferentes tipos de coagulantes y floculantes, así como a identificar posibles problemas o limitaciones en el proceso de coagulación-floculación antes de su implementación a gran escala en una planta de tratamiento de aguas residuales.

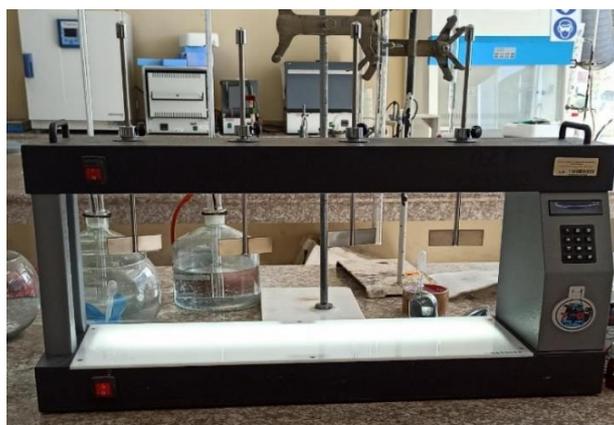


Ilustración 3-2: Equipo del test de jarras

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.4.2 Químicos empleados en la tratabilidad de aguas residuales

Tabla 3-16: Coagulantes y floculantes empleados en la tratabilidad del agua residual

Coagulantes		
<p>Los coagulantes son sustancias que actúan para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas y sustancias coloidales presentes en el agua, permitiendo que las partículas se aglomeren y se formen flóculos más grandes y pesados.</p>		
Tipo de coagulante	Función	Ventajas
<p>Policloruro de aluminio 1 %</p> <p>Fórmula: $Cl_{3n-m}(OH)_mAl_m$</p>	<p>Al agregar PAC al agua, se disocia en iones de aluminio y cloruro. Los iones de aluminio actúan como agentes coagulantes y tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua. Esto permite que las partículas se aglutinen y formen flóculos más grandes y pesados.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor velocidad de sedimentación y formación de flóculos. • Menor tiempo de mezclado. • Mejor eficiencia de filtración. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo
<p>Cloruro férrico 1 %</p> <p>Fórmula: $FeCl_3$</p>	<p>Al añadir cloruro férrico al agua, se disocia en iones férricos (Fe^{3+}) y cloruro (Cl^-). Los iones férricos actúan como agentes coagulantes y tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas presentes en el agua, permitiendo que se aglutinen y formen flóculos más grandes.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Útil en rangos amplios de pH y temperatura. • Baja dosificación <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generación de lodos con hierro, que resultan corrosivos
<p>Sulfato de aluminio 1 %</p> <p>Formula: $Al_2(SO_4)_3$</p>	<p>El sulfato de aluminio al añadirse al agua se disocia en iones de aluminio y sulfato. Los iones de aluminio actúan como agentes coagulantes y tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas y las sustancias coloidales presentes en el agua. Esto permite que las partículas se unan entre sí y formen flóculos más grandes.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta disponibilidad y bajo costo. • Puede ser usado en diferentes aguas residuales. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genera gran cantidad de lodos. • Mayor tiempo de sedimentación y mezclado.
Floculantes		
<p>Los floculantes son sustancias que ayudan a unir las partículas coaguladas en flóculos más grandes y pesados. Los floculantes se agregan después de los coagulantes y mejoran la velocidad y la eficacia de la floculación.</p>		
Tipo de floculante	Función	
<p>Polielectrolito aniónico 1 %</p>	<p>Aglomera las partículas coaguladas y neutralizadas previamente por los coagulantes. Estos polímeros de alto peso molecular tienen cargas negativas en su estructura, lo que les permite interactuar con las partículas cargadas positivamente y las impurezas en el agua.</p>	

Fuente: (Buenaño, 2019, pp. 56-57).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.4.3 Ensayos de tratabilidad del agua residual de curtido vegetal

Los siguientes ensayos de tratabilidad se realizaron para minimizar los contaminantes presentes en el agua residual de curtido vegetal, con el fin de que todos los parámetros estén dentro de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 8. Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

3.4.3.1 Aireación

La aireación es un proceso utilizado en el tratamiento de aguas residuales que implica la incorporación de aire al agua para promover la oxidación de compuestos orgánicos y la eliminación de gases indeseables. El objetivo principal de la aireación es proporcionar un ambiente aeróbico en el cual los microorganismos presentes en el agua residual puedan descomponer y metabolizar la materia orgánica disuelta. La aireación no solo favorece la oxidación de compuestos orgánicos, sino que también ayuda a eliminar o reducir gases indeseables, como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), responsable del olor desagradable en algunas aguas residuales. El procedimiento se detalla a continuación:

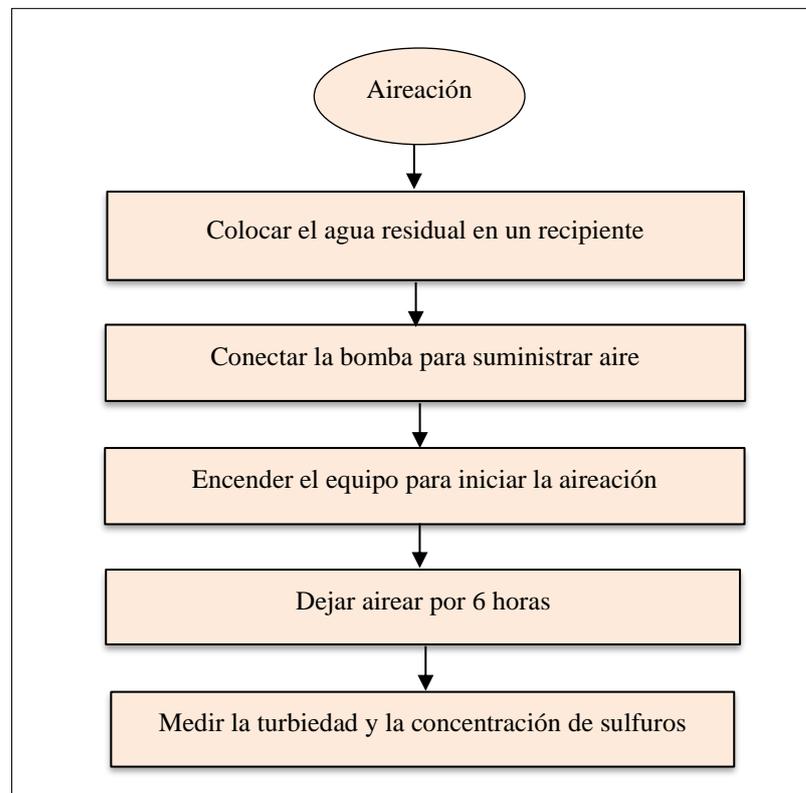


Ilustración 3-3: Procedimiento para realizar la aireación del agua residual

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-17: Determinación del tiempo de aireación

Tiempo	Concentración de sulfuros	Turbiedad
1 hora	6,5 mg/L	732 NTU
2 horas	4,8 mg/L	749 NTU
3 horas	3,2 mg/L	788 NTU
4 horas	3,2 mg/L	801 NTU
5 horas	3 mg/L	803 NTU
6 horas	2,9 mg/L	805 NTU

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Como se observa en la tabla 3-17 a medida que transcurre el tiempo la turbiedad aumenta, mientras que la concentración de sulfuros disminuye, pero en la tercera y cuarta hora la concentración de sulfuros se mantiene constante, por ende, se seleccionó las 3 horas como el tiempo óptimo de aireación dando como resultado una concentración de sulfuros de 3,2 mg/L y una turbiedad de 788 NTU.

3.4.3.2 Precipitación de lodos con cal P-24

La precipitación de lodos con cal P-24 sirve para promover la separación y la sedimentación de los sólidos suspendidos y las impurezas presentes en el agua. Al agregar cal P-24 al agua residual, reacciona con los iones presentes en el agua, como los iones de hidróxido (OH⁻) y los iones de carbonato (CO₃²⁻), para formar hidróxidos de metales insolubles. Estos hidróxidos de metales insolubles, también conocidos como precipitados o lodos, se forman cuando los iones metálicos presentes en el agua reaccionan con la cal P-24. Los lodos formados son partículas sólidas más grandes y pesadas que pueden ser separadas más fácilmente del agua mediante procesos de sedimentación o filtración.

La cal P-24 también puede ayudar a ajustar el pH del agua residual, ya que tiene propiedades alcalinas. A continuación, se detalla el proceso:

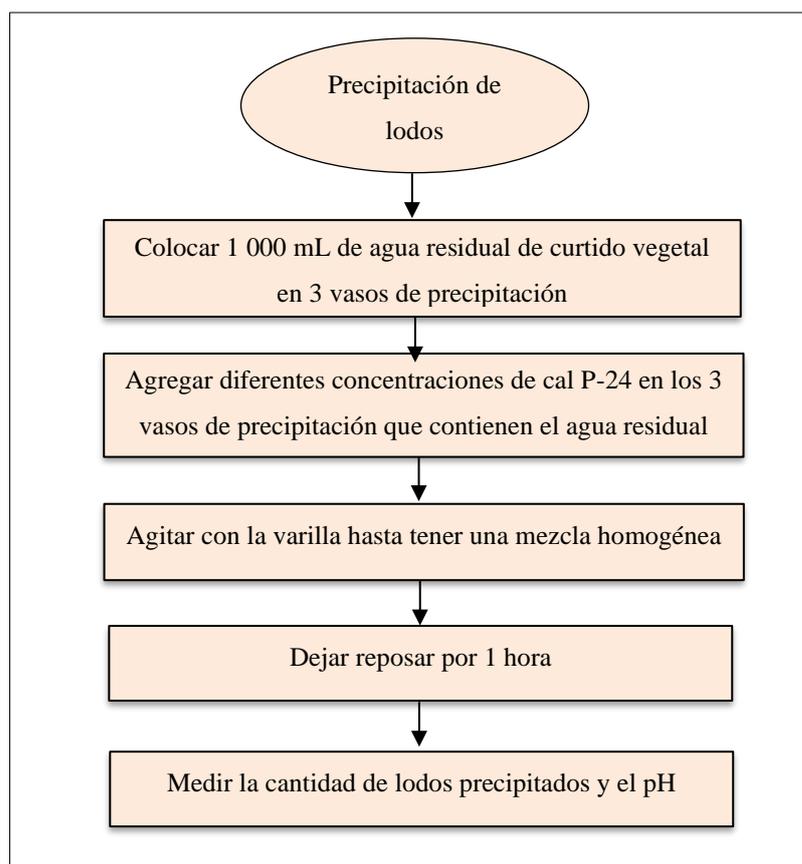


Ilustración 3-4: Procedimiento para realizar la aireación del agua residual
Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-18: Resultados de la precipitación de lodos con cal P-24

Volumen de la muestra = 1 000 mL pH inicial: 4,88 – 5,08				
Dosificación de cal P-24 (g)	Resultados			
	pH	Conductividad (mSiems/cm)	Turbiedad (NTU)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
2	7,03	11,30	640	640
3	8,38	11,22	525	508
4	9,28	11,18	562	500

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Como se puede evidenciar en la tabla 3-18 al dosificar 3 gramos de cal P-24 se obtiene un pH de 8,38 que está dentro de la normativa ambiental vigente, además los valores de la turbiedad bajan hasta 425 NTU y hay 508 mg/L de sólidos suspendidos, lo cual va a ser de gran ayuda para el siguiente proceso que es coagulación-floculación.



Ilustración 3-5: Precipitación de lodos con cal P-24

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En una muestra de 1 000 mL de agua residual de curtido vegetal al añadir 3 gramos de cal P-24 se obtiene una precipitación de lodos de 210 mL/L.

Como se mencionó anteriormente la cal P-24 sirve también para ajustar el pH ya que tiene propiedades alcalinas, al añadir los 3 gramos de cal se obtiene un pH que está dentro de los límites permisibles de la normativa ambiental vigente. La adición de la cal P-24 es suficiente para ajustar el pH y seguir con el siguiente paso que es coagulación-floculación. Se tomó dos muestras para comparar el pH inicial y el pH luego de añadir cal P-24, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-19: Ajuste de pH con cal P-24

Muestra 2	pH inicial	4,74
	Dosificación de cal P-24 (g)	3
	pH final	8,25
Muestra 3	pH inicial	4,96
	Dosificación de cal P-24 (g)	3
	pH final	8,48

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.4.3.3 Coagulación-floculación

Una vez concluida la precipitación de lodos, se tomó el sobrenadante para realizar varios ensayos mediante el test de jarras con el fin de seleccionar el coagulante apto para la tratabilidad del agua residual de curtido vegetal. El procedimiento se detalla a continuación:

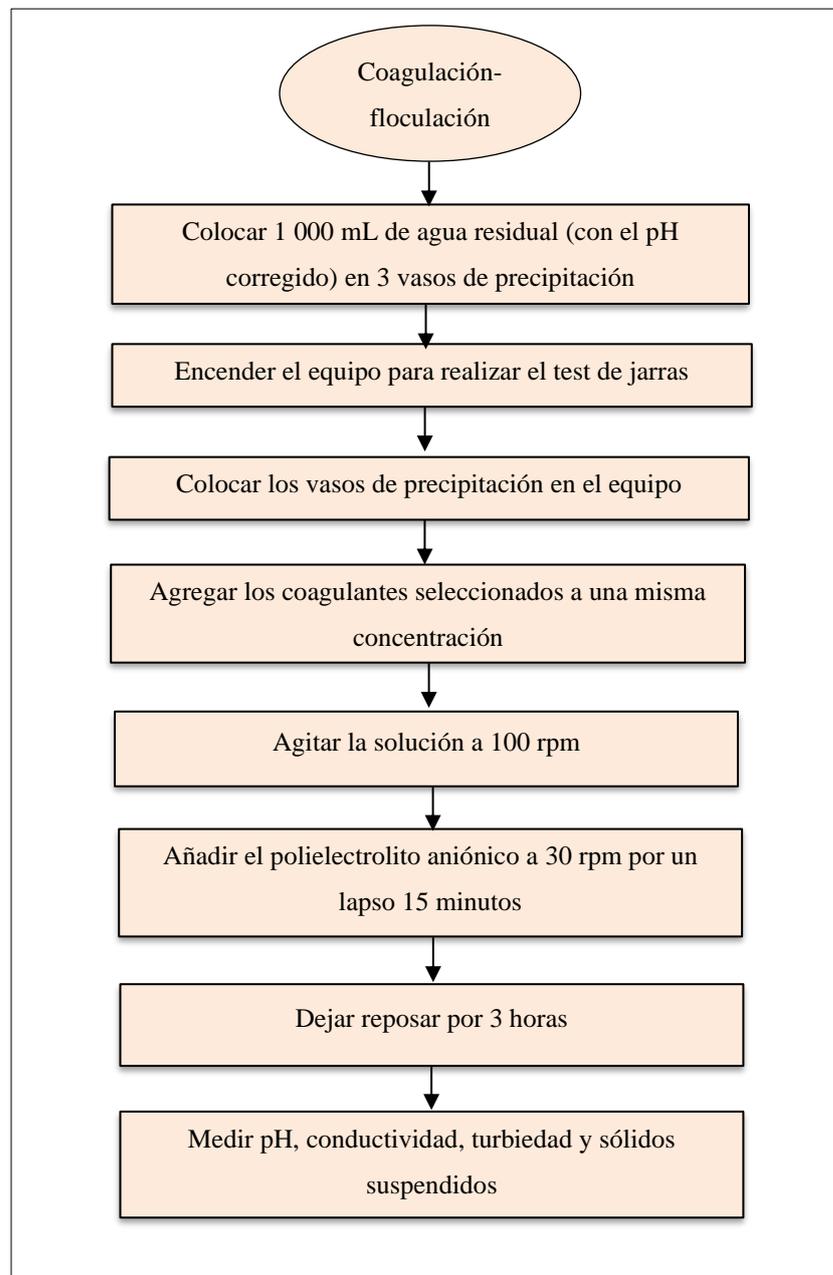


Ilustración 3-6: Coagulación-floculación del agua residual

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-20: Selección del coagulante para el agua residual de curtido vegetal

Volumen de la muestra = 1 000 mL
 pH = 8,25
 Velocidad de agitación = 100 rpm
 Floculante = polielectrolito aniónico 1 % (2 mL)

Tipo de coagulante	Dosificación (mL)	pH	Color (Pt/Co)	Turbiedad (NTU)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
Policloruro de aluminio 1 %	20	8,39	2 678	182	114
Sulfato de aluminio 1 %	20	8,42	1 550	83,7	48
Cloruro férrico 1 %	20	8,51	1 989	100,2	86

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

**Ilustración 3-7:** Coagulación-floculación del agua residual

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Una vez finalizada la coagulación y floculación se dejó reposar las muestras de agua residual y al cabo de 3 horas se midieron los parámetros como son: pH, color, turbiedad y sólidos suspendidos. De los resultados obtenidos se puede deducir que el coagulante óptimo es el sulfato de aluminio.

Tabla 3-21: Dosificación del sulfato de aluminio para el agua residual de curtido vegetal

pH = 8,25 – 8,45
 Velocidad de agitación = 100 rpm
 Coagulante = Sulfato de aluminio al 1 %

Concentración del $Al_2(SO_4)_3$	Dosificación del $Al_2(SO_4)_3$	Color	Conductividad	Turbiedad	Sólidos suspendidos totales
ppm	mL	Pt/Co	mSiems/cm	NTU	mg/L
20	2	2 214	11,23	502	179
50	5	1 820	11,80	489	132
100	10	1 649	12,15	117	81
150	15	1 580	12,10	95,4	64

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la tabla 3-21 se muestran los resultados al utilizar diferentes concentraciones de sulfato de aluminio, al emplear 15 mL de coagulante se observan buenos resultados, sobre todo en la turbiedad y sólidos suspendidos, por ello se ha escogido como la mejor dosificación a los 15 mL de sulfato de aluminio, esto se lo realizó con el fin de usar una menor cantidad de coagulante.



Ilustración 3-8: Dosificación de 15 mL de sulfato de aluminio

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 3-22: Dosificación del polielectrolito aniónico para el agua residual de curtido vegetal

Volumen de la muestra = 1 000 mL pH = 8,52 – 8,64 Velocidad de agitación = 30 rpm (15 minutos) Coagulante = sulfato de aluminio al 1 % Floculante = polielectrolito aniónico 1 %					
Concentración del polielectrolito aniónico	Concentración del $Al_2(SO_4)_3$	Color	Conductividad	Turbiedad	Sólidos suspendidos totales
ppm	ppm	Pt/Co	mSiems/cm	NTU	mg/L
0,5	150	2 208	11,22	997	177
1	150	1 816	11,76	478	129
2	150	1 568	12,02	91	58

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la tabla 3-22 se muestran los resultados al utilizar diferentes concentraciones de polielectrolito aniónico, al emplear 2 mL de floculante se observan buenos resultados, por tal motivo se escogió 2 mL de polielectrolito aniónico como la mejor dosificación.

3.4.3.4 Filtración

Para concluir con las pruebas de tratabilidad se filtró el agua después de la coagulación-floculación, para ello se empleó un filtro compuesto de grava gruesa, grava fina, caliza, carbón activado granulado y arena. A medida que el agua pasa a través del medio filtrante de carbón activado granulado, las impurezas quedan retenidas en el mismo, lo que permite obtener un líquido más limpio y libre de contaminantes. La filtración se realizó sobre todo con el fin de disminuir la turbiedad, color y sólidos suspendidos totales, el tiempo que tardo fue 3 horas.



Ilustración 3-9: Filtración del agua tratada

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Luego de la filtración se obtuvo un agua bastante clara, tal como se observa en la ilustración 3-9 y con este último paso se logró que varios parámetros como es el color, sulfuros, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DQO, DBO, etc. estén dentro de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 8. Anexo I del Libro VI del TULSMA.

3.5 Cálculos de ingeniería

3.5.1 Propuesta de rediseño de la PTAR de la Tenería Núñez

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales implica modificar o mejorar el sistema existente para lograr un tratamiento más eficiente y efectivo de las aguas residuales, ya que el sistema vigente no cumple la función de eliminar los contaminantes. A partir de la toma de muestras y caracterización del efluente de curtido vegetal se pudo determinar las unidades o

equipos que necesitaban ser rediseñados y las unidades o equipos que se debían diseñar para integrarse al sistema de tratamiento, con el fin de que los parámetros del agua residual estén dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA, Tabla 8 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público).

Para el rediseño se dimensionó las rejillas con el fin de impedir el paso de determinados sólidos, también se diseñó un tanque de aireación, de sedimentación, de filtración y un lecho de secado, mientras que, el tanque de almacenamiento se mantiene, por otro lado, las dos cajas de 1,5 m³ con las que cuenta la Tenería no formarán parte del rediseño, ya que la empresa las va a utilizar para operaciones secundarias dentro del proceso productivo.

PTAR actual	Propuesta de rediseño de la PTAR
<p>Filtrado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con un filtro improvisado de malla metálica 	<p>Rejillas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitirá retener material sólido de gran tamaño
<p>Tanque de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiene una capacidad de 8 m³ • Almacena agua residual de curtido vegetal 	<p>Tanque de almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Almacena agua residual de curtido vegetal
<p>Caja 1 de precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite que el efluente del curtido vegetal precipite. • Tiene una capacidad de 1,5 m³ 	<p>Tanque de aireación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitirá bajar parámetros como la DBO y sulfuros
<p>Caja 2 de precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite que el efluente del curtido vegetal precipite. • Tiene una capacidad de 1,5 m³ 	<p>Tanque de sedimentación</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de sedimentación es de 3 horas
	<p>Lecho de secado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitirá secar los lodos
	<p>Tanque de filtración</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitirá bajar varios parámetros entre ellos el color, turbiedad, etc.

Ilustración 3-10: PTAR actual y propuesta de rediseño.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.5.2 Dimensionamiento de unidades para el rediseño de la PTAR

3.5.2.1 Caudal experimental

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 3-1

$$Q = 0,0694 \frac{L}{s}$$

$$Q = 0,0694 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1\,000\,L} \times \frac{3\,600\,s}{1\,h} \times \frac{24\,h}{1\,día}$$

$$Q = 6 \frac{m^3}{día}$$

Donde:

Q = Caudal experimental (L/s)

V = Volumen del agua residual (L)

t = Tiempo de llenado del tanque de almacenamiento (s)

3.5.2.2 Caudal de corrección

$$Q_c = Q \times f$$

Ecuación 3-2

$$Q_c = 6 \frac{m^3}{día} \times 0,30$$

$$Q_c = 1,8 \frac{m^3}{día}$$

Donde:

Q_c = Caudal de corrección ($m^3/día$)

Q = Caudal experimental ($m^3/día$)

f = Factor de seguridad (30 %)

3.5.2.3 Caudal de diseño

$$Q_d = Q + Q_c$$

Ecuación 3-3

$$Q_d = 6 \frac{m^3}{día} + 1,8 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_d = 7,8 \frac{m^3}{día}$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño ($m^3/día$)

Q_c = Caudal de corrección ($m^3/día$)

Q = Caudal experimental ($m^3/día$)

3.5.2.4 Dimensionamiento del sistema de rejillas

El sistema de rejillas cumple una función importante en la etapa inicial del proceso de tratamiento, se instala en la entrada o en los primeros puntos de recolección de las aguas residuales para retener los sólidos más grandes y es esencial para la protección de los equipos, la prevención de obstrucciones y la mejora del rendimiento general del proceso de tratamiento, asegurando un funcionamiento más eficiente y confiable de la planta.

Tabla 3-23: Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Variable	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Espesor de las rejillas	cm	0,6 -1,5	5 - 15
Profundidad	mm	25 - 37,5	25 - 37,5
Separación entre barras (Fina)	cm	0,5 – 1,5	15 - 75
Separación entre barras (Media)	cm	1,5 – 5	-
Separación entre barras (Gruesa)	cm	> 5	-
Pendiente en relación a la vertical	grados	25 - 50	50 - 82,5
Velocidad de aproximación	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,2
Pérdida de carga admisible	mm	150	150

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 508-510)

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Rejillas de limpieza manual

Estas rejillas generalmente están compuestas por barras o elementos de filtrado colocados en un ángulo determinado para retener los sólidos más grandes presentes en el agua residual. A medida que los sólidos se acumulan en las rejillas, se debe realizar una limpieza manual periódica para eliminarlos y restaurar su capacidad de retención, su longitud no deberá exceder de la que permita su correcta limpieza, las barras que conforman la reja no deben exceder los 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad (Metcalf y Eddy, 1995, p. 510).

- **Área libre del paso del agua**

De acuerdo a lo establecido por la Norma RAS en la Tabla 3-23, la velocidad de flujo tendrá un valor de 0,35 m/s.

$$A_l = \frac{Q_d}{v}$$

Ecuación 3-4

$$A_l = \frac{9,04 \times 10^{-5} m^3/s}{0,35 m/s}$$

$$A_l = 0,000258 m^2$$

Donde:

A_l = Área libre del paso de agua (m^2)

v = Velocidad de flujo (m/s)

Q_d = Caudal de diseño (m^3/s)

- **Altura del tirante en el canal**

$$h_{a'} = \frac{A_l}{B}$$

Ecuación 3-5

$$h_{a'} = \frac{0,000258 m^2}{0,3 m}$$

$$h_{a'} = 0,00086 m$$

Donde:

$h_{a'}$ = Altura del tirante en el canal (m)

A_l = Área libre del paso de agua (m^2)

B = Ancho del canal (m)

- **Altura del tirante de construcción**

$$h_a = h_{a'} + h_s$$

Ecuación 3-6

$$h_a = 0,00086 m + 0,30 m$$

$$h_a = 0,30086 m$$

Donde:

h_a = Altura del tirante de construcción (m)

$h_{a'}$ = Altura del tirante en el canal (m)

h_s = Altura con factor de seguridad (30 %)

- **Longitud de las barras**

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 3-7

$$L_b = \frac{0,30086 \text{ m}}{\text{sen}45}$$

$$L_b = 0,45 \text{ m}$$

Donde:

L_b = Longitud de las barras (m)

h_a = Altura del tirante de construcción (m)

θ = Ángulo de inclinación (45 grados, valor considerado de la Tabla 3-23)

- **Número de barras**

$$N_b = \frac{B}{e + S}$$

Ecuación 3-8

$$N_b = \frac{0,3 \text{ m}}{0,013 \text{ m} + 0,015 \text{ m}}$$

$$N_b = 10,71 \approx 11$$

Donde:

N_b = Número de barras

B = Ancho del canal (m)

e = Espesor máximo de barras (0,013 m, valor considerado de la Tabla 3-23)

S = Separación entre barras (0,015 m, valor considerado de la Tabla 3-23)

- **Nivel máximo del agua**

$$n_{max} = \frac{Q_d}{v \times B}$$

Ecuación 3-9

$$n_{max} = \frac{9,04 \times 10^{-5} m^3/s}{0,35 m/s \times 0,3 m}$$

$$n_{max} = 0,00086 m$$

Donde:

n_{max} = Nivel máximo del agua (m)

Q_d = Caudal de diseño (m^3/s)

v = Velocidad de flujo (0,35 m/s, valor considerado de la Tabla 3-23)

B = Ancho del canal (m)

- **Longitud sumergida de las barras**

$$L_s = \frac{n_{max}}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 3-10

$$L_s = \frac{0,00086 m}{\text{sen}45}$$

$$L_s = 0,00122 m$$

Donde:

n_{max} = Nivel máximo del agua (m)

L_s = Longitud sumergida de barras (m)

θ = Ángulo de inclinación (45 grados, valor considerado de la Tabla 3-23)

- **Pérdida de carga**

En este caso se va a trabajar con una forma de rejilla tipo A, con el fin de retener la mayor cantidad posible de sólidos y residuos no deseados.

Tabla 3-24: Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: (Norma RAS, 2000, p.51).

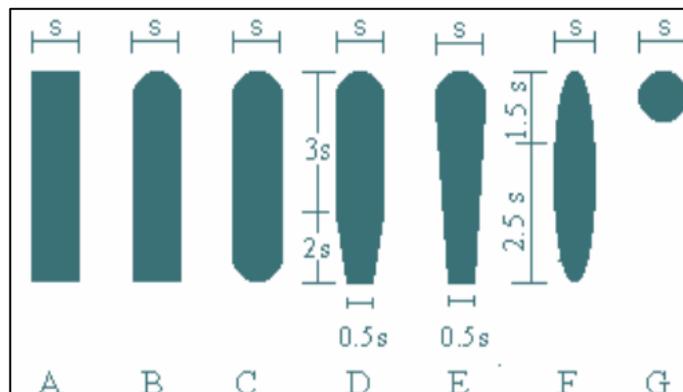


Ilustración 3-11: Formas de rejillas

Fuente: (Norma RAS, 2000, p.51).

$$H = \beta \left(\frac{e}{S}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{v^2}{2g}\right) \text{sen}\theta$$

Ecuación 3-11

$$H = 2,42 \left(\frac{0,013 \text{ m}}{0,015 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0,35^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}\right) \text{sen}45$$

$$H = 0,0088 \text{ m} < 0,15 \text{ m admisibles} *$$

Donde:

H = Pérdida de carga (m)

β = Factor dependiente de la forma de barras (adimensional), (1,79 valor considerado de la Tabla 3-23)

e = Espesor máximo de barras (0,013 m, valor considerado de la Tabla 3-23)

S = Separación entre barras (0,018 m, valor considerado de la Tabla 3-23)

v = Velocidad de flujo (0,35 m/s, valor considerado de la Tabla 3-23)

g = Gravedad (9,8 m/s²)

θ = Ángulo de inclinación (45 grados, valor considerado de la Tabla 3-23)

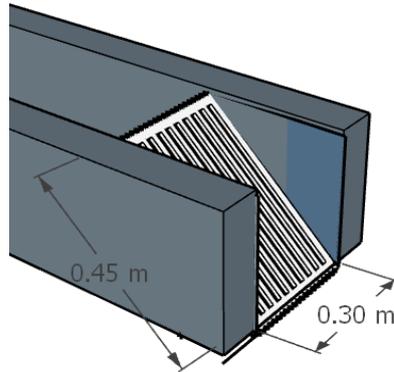


Ilustración 3-12: Sistema de rejillas

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.5.2.5 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento forma parte del sistema de tratamiento de aguas residuales y su función principal es almacenar temporalmente las aguas residuales antes de que sean tratadas adecuadamente o eliminadas de manera segura. Además, durante el almacenamiento, los sólidos y sedimentos más pesados se asientan en el fondo del tanque, lo que facilita la separación y eliminación de estos materiales antes del tratamiento posterior. La Tenería cuenta con un tanque de almacenamiento que tiene una capacidad de 8 m³ y puesto que el caudal de diseño es de 7,8 m³ por día, el tanque de almacenamiento se mantiene para el rediseño.

Tabla 3-25: Datos del tanque de almacenamiento

Variable	Unidad	Valor
Alto	m	2
Largo	m	2
Ancho	m	2
Volumen	m ³	8

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.5.2.6 Dimensionamiento del tanque de aireación

El tanque de aireación es una componente fundamental dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales y en este caso se lo emplea principalmente para disminuir la cantidad de sulfuros, debido a que no existe la presencia de microorganismos no se da la oxidación biológica de materia orgánica motivo por el cual la turbiedad aumenta conforme transcurre el tiempo.

Para el diseño se implementará difusores, en este proceso se utilizan compresores de aire para suministrar oxígeno al agua. Estos compresores toman el aire ambiente y lo comprimen, generando un flujo de aire a presión que luego se distribuye a través de difusores ubicados en el fondo del tanque o reactor de aireación.

Consideraciones

El volumen de agua residual a tratar es $7,8 \text{ m}^3$ y la relación entre la longitud y el ancho del tanque es: $l/a=1,5$

- **Altura del tanque de aireación**

$$H_{TA} = \sqrt[3]{\frac{Vol}{3}}$$

Ecuación 3-12

$$H_{TA} = \sqrt[3]{\frac{7,8 \text{ m}^3}{3}}$$

$$H_{TA} = 1,38 \text{ m}$$

Donde:

H_{TA} = Altura del tanque de aireación (m)

Vol = Volumen del agua residual a tratar (m^3)

- **Ancho del tanque de aireación**

$$B_{TA} = \sqrt{2}H_{TA}$$

Ecuación 3-13

$$B_{TA} = \sqrt{2} \times 1,38 \text{ m}$$

$$B_{TA} = 1,95 \text{ m}$$

Donde:

H_{TA} = = Altura del tanque de aireación (m)

B_{TA} = Ancho del tanque de aireación (m)

- **Longitud del tanque de aireación**

$$L_{TA} = 1,5B_{TA}$$

Ecuación 3-14

$$L_{TA} = 1,5 \times 1,95 \text{ m}$$

$$L_{TA} = 2,93 \text{ m}$$

Donde:

L_{TA} = = Largo del tanque de aireación (m)

B_{TA} = = Ancho del tanque de aireación (m)

- **Volumen verdadero del tanque de aireación**

Tabla 3-26: Datos para el diseño del tanque de aireación

Variable	Unidad	Valor
Alto	m	1,38
Largo	m	2,93
Ancho	m	1,95

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

$$V_{TA} = H_{TA} \times L_{TA} \times B_{TA}$$

Ecuación 3-15

$$V_{TA} = 1,38 \text{ m} \times 2,93 \text{ m} \times 1,95 \text{ m}$$

$$V_{TA} = 7,88 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{TA} = Volumen del tanque de aireación (m^3)

H_{TA} = Altura del tanque de aireación (m)

L_{TA} = Largo del tanque de aireación (m)

B_{TA} = Ancho del tanque de aireación (m)

Cálculos para el diseño del compresor

El diseño de un compresor implica considerar varios factores importantes para asegurar su eficiencia, rendimiento y durabilidad. Algunos aspectos clave para tener en cuenta en el diseño de un compresor son el caudal de aire, presión hidrostática, tamaño del tanque y DBO₅.

- **Caudal de inyección de aire en función de la DBO₅**

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = DBO_5 \times Q_d$$

Ecuación 3-16

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = 1\,833 \frac{mg}{L} \times \frac{1\,000L}{1 \times 10^6 mg\, DBO_5} \times \frac{7,8\, m^3}{día}$$

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = 14,30 \left(\frac{Kg\, DBO_5}{día} \right)$$

Donde:

DBO_5 = Demanda Bilógica de Oxígeno (Kg/día)

Q_d = Caudal de diseño (m^3/s)

- **Caudal de aire a ser suministrado**

$$Q_{aire} = 14,30 \frac{Kg\, DBO_5}{día} \times \frac{154\, m^3\, aire}{1\, Kg\, DBO_5} \times \frac{1\, día}{24\, horas} \times \frac{1\, hora}{60\, min}$$

$$Q_{aire} = 1,53 \frac{m^3}{min}$$

- **Presión hidrostática**

$$P_{H_2O} = \rho \times g \times H_{TA}$$

Ecuación 3-17

$$P_{H_2O} = 998,2 \frac{Kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 1,38\, m$$

$$P_{H_2O} = 13\,499,66\, Pa$$

$$P_{H_2O} = 13\,499,66 \text{ Pa} \times \frac{1 \text{ atm}}{101\,325 \text{ Pa}} \times \frac{14,7 \text{ psi}}{1 \text{ atm}}$$

$$P_{H_2O} = 1,96 \text{ psi}$$

Donde:

P_{H_2O} = Presión hidrostática (psi)

ρ = Densidad del agua residual a 20°C (998,2 kg/m³)

g = gravedad (9,8 m/s²)

H_{TA} = Altura del tanque de aireación (m)

- **Presión absoluta**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H_2O}$$

Ecuación 3-18

$$P_{abs} = 14,7 \text{ psi} + 1,96 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 16,66 \text{ psi}$$

Donde:

P_{abs} = Presión absoluta (psi)

P_{atm} = Presión atmosférica (psi)

P_{H_2O} = Presión hidrostática (psi)

- **Variación térmica del aire de compresión**

$$\Delta T_{comp} = \frac{T_{amb}}{\eta} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación 3-19

$$\Delta T_{comp} = \frac{20 \text{ °C} + 273 \text{ K}}{0,75} \left[\left(\frac{16,66 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{comp} = 14,08 \text{ °C}$$

Donde:

ΔT_{comp} = Variación térmica del aire de compresión (°C)

T_{amb} = Temperatura ambiente (20 °C)

$P_1 = P_{atm}$ = Presión atmosférica (psi)

$P_2 = P_{abs}$ = Presión absoluta (psi)

η = Eficiencia del compresor (75 %)

- **Temperatura de salida del aire**

$$T_{aire} = T_{amb} + \Delta T_{comp}$$

Ecuación 3-20

$$T_{aire} = 20 \text{ °C} + 14,08 \text{ °C}$$

$$T_{aire} = 34,08 \text{ °C}$$

Donde:

P_{abs} = Presión absoluta (psi)

P_{atm} = Presión atmosférica (psi)

- **Potencia del Compresor**

$$P_{comp} = \frac{Q_{aire} R T_{amb}}{\eta \times n \times \varepsilon} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \times 0,7457$$

Ecuación 3-21

$$P_{comp} = \frac{0,030 \frac{Kg \text{ aire}}{s} \times 29,27 \frac{m}{K} \times 293 \text{ K}}{75 \times 0,283 \times 0,75} \left[\left(\frac{16,66 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right] \times 0,7457$$

$$P_{comp} = 0,434 \text{ KW} = 0,582 \text{ Hp}$$

Donde:

P_{comp} = Potencia del compresor (Hp)

Q_{aire} = Caudal de aire $\left(1,53 \frac{m^3 \text{ aire}}{min} \times \frac{1,2041 \text{ Kg aire}}{1 m^3 \text{ aire}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0,030 \frac{Kg \text{ aire}}{s} \right)$

$P_1 = P_{atm}$ = Presión atmosférica (psi)

$P_2 = P_{abs}$ = Presión absoluta (psi)

R = Constante para el aire (29,27 m/K)

T_{amb} = Temperatura ambiente (20 °C = 293 K)

ε = Eficiencia del compresor (75 %)

n = constante para el aire (0,283)

- **Velocidad a la salida del compresor**

$$v = \frac{Q_{aire}}{\frac{\pi}{4} \times \phi_t^2}$$

Ecuación 3-22

$$v = \frac{1,53 \frac{m^3}{min}}{\frac{\pi}{4} \times (0,085 m)^2}$$

$$v = 269,62 \frac{m}{min} \times \frac{1 min}{60 s}$$

$$v = 4,49 m/s$$

Donde:

v = Velocidad a la salida del compresor (m/s)

Q_{aire} = Caudal del aire (m^3 aire/min)

ϕ_t = Diámetro de la tubería (m)

- **Densidad del aire**

$$\rho_{aire} = \frac{1,293}{1 + 0,00367(T_{aire})} \left(\frac{P_2}{76} \right)$$

Ecuación 3-23

$$\rho_{aire} = \frac{1,293}{1 + 0,00367(34,08^\circ C)} \left(\frac{86,15 \text{ cmHg}}{76} \right)$$

$$\rho_{aire} = 1,30 \frac{Kg}{m^3}$$

Donde:

ρ_{aire} = Densidad del aire $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$

$P_2 = P_{abs}$ = Presión absoluta (16,66 psi = 86,15 cmHg)

T_{aire} = Temperatura a la salida del aire ($^\circ C$)

Consideraciones para la elección de la tubería:

Dado que las presiones con las cuales se va a trabajar no son tan altas, se puede seleccionar tuberías ligeras, el material puede ser de: acero comercial, acero inoxidable, acero recubierto, etc.

- **Viscosidad dinámica del aire**

$$\mu = (170 + 0,504(T_{aire})) \times 10^{-4}$$

Ecuación 3-24

$$\mu = (170 + 0,504(34,08 \text{ } ^\circ\text{C})) \times 10^{-4}$$

$$\mu = 0,019 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Donde:

μ = Viscosidad dinámica del aire (Pa.s)

T_{aire} = Temperatura a la salida del aire ($^\circ\text{C}$)

- **Número de Reynolds**

$$N_{Re} = \frac{\rho_{aire} \times \phi_t \times v}{\mu}$$

Ecuación 3-25

$$N_{Re} = \frac{1,30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,085 \text{ m} \times 4,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,019 \text{ Pa}\cdot\text{s}}$$

$$N_{Re} = \frac{1,30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,085 \text{ m} \times 4,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,019 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\text{s}}$$

$$N_{Re} = \frac{1,30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,085 \text{ m} \times 4,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,019 \frac{\text{Kg m}}{\text{s}^2} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}}$$

$$N_{Re} = 26,11$$

Donde:

N_{Re} = Número de Reynolds

ρ_{aire} = Densidad del aire ($\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$)

μ = Viscosidad dinámica del aire (Pa.s)

ϕ_t = Diámetro de la tubería (m)

v = Velocidad a la salida del compresor (m/s)

Cálculos para el diseño del difusor

Los difusores son dispositivos diseñados para liberar el aire comprimido en forma de pequeñas burbujas en el agua residual, dichas burbujas ascienden lentamente hacia la superficie, proporcionando un área de contacto óptima entre el oxígeno y los contaminantes presentes en el agua. La distribución uniforme de las burbujas de aire en el agua es esencial para lograr una eficiente transferencia de oxígeno, por lo tanto, los difusores se colocan estratégicamente a lo largo del fondo del tanque para asegurar una cobertura adecuada.

Tabla 3-27: Régimen y eficiencia

Burbujas	Régimen	Eficiencia	Tamaño de burbuja
Burbuja simple o fina	$0 < N_{Re} < 200$	10 – 30%	2 -5 mm
Burbuja intermedia semifina	$200 < N_{Re} < 2\ 000$	6 – 15%	6 – 10 mm
Burbuja a chorro	$N_{Re} > 2\ 000$	4 – 8%	10 mm

Fuente: (Chamorro, 2019, p. 46).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

- **Cálculo del diámetro de los orificios del difusor**

$$\phi_o = \frac{d_b^3 \times g \times (\rho_L - \rho_{aire})}{6 \times \sigma}$$

Ecuación 3-26

$$\phi_o = \frac{(0,00264\ m)^3 \times 9,8\ \frac{m}{s^2} \times \left(1\ 250\ \frac{Kg}{m^3} - 1,29\ \frac{Kg}{m^3}\right)}{6 \times 0,00087\ \frac{N}{m}}$$

$$\phi_o = 0,043\ \frac{\frac{Kg\ m}{s^2}}{N}\ m$$

$$\phi_o = 0,043\ \frac{N}{N}\ m$$

$$\phi_o = 0,043\ m$$

Donde:

ϕ_o = Diámetro del orificio (m)

d_b = Diámetro de la burbuja (2,64 mm, valor considerado de la Tabla 3-27)

ρ_L = Densidad del agua residual (1 250 Kg/m³)

ρ_{aire} = Densidad del aire (1,29 Kg/m³)

σ = Tensión superficial de la película gas-liquido (0,00087 $\frac{N}{m}$)

g = gravedad (9,8 m/s²)

- **Número de orificios del difusor**

$$N_o = \frac{0,7 \times \phi_t}{\phi_o}$$

Ecuación 3-27

$$N_o = \frac{0,7 \times 85 \text{ mm}}{4,3 \text{ mm}}$$

$$N_o = 13,83 \approx 14$$

Donde:

N_o = Número de orificios

ϕ_t = Diámetro de la tubería (mm)

ϕ_o = Diámetro del orificio (mm)

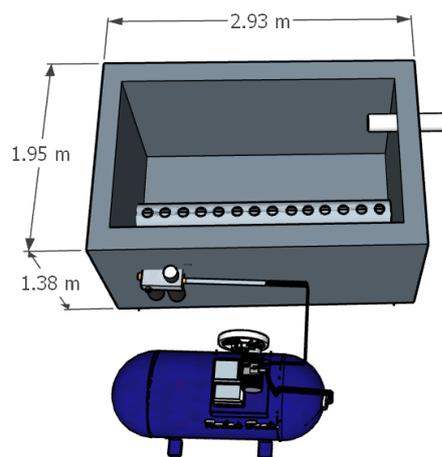


Ilustración 3-13: Tanque de aireación

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.5.2.7 Dimensionamiento del sedimentador

La sedimentación se utiliza para separar los sólidos suspendidos y los contaminantes presentes en el agua residual. Este proceso se basa en el principio de la gravedad, donde los sólidos más pesados se asientan en el fondo del tanque de sedimentación, mientras que el agua clarificada se recoge en la parte superior. La sedimentación se realiza con el fin de clarificar el agua residual, concentrar sólidos, eliminar los sólidos suspendidos y reducir la carga de contaminantes en el agua antes de su descarga.

Consideraciones:

El tanque de sedimentación es de forma cilíndrica abierta con fondo troncocónico, debido a que se puede obtener un mayor porcentaje de remoción y se puede evacuar los lodos de manera sencilla. Con el fin de evitar la formación de remolinos en la agitación, se diseñó 2 deflectores, además, el sedimentador cuenta con un sistema de agitación que consta de dos paletas planas para llevar a cabo una correcta agitación y un mezclado uniforme al momento de añadir el coagulante y floculante. La adición de los productos químicos (cal P-24, sulfato de aluminio y polielectrolito aniónico) se realizará manualmente.

Por otro lado, el agua residual luego de pasar por el tanque de aireación pasará por la tubería y tendrá que subir 2,20 m para poder ingresar al tanque de sedimentación, por ello es necesario colocar una bomba de 0,5 Hp ya que, esta bomba puede elevar el agua a una altura de alrededor de 5 metros.

- **Volumen del sedimentador tomando en cuenta el factor de seguridad**

$$V_S = V_{cv} + V_{cv} \times f$$

Ecuación 3-28

$$V_S = 6 \text{ m}^3 + 6 \text{ m}^3 \times 0,3$$

$$V_S = 7,8 \text{ m}^3$$

Donde:

V_S = Volumen del sedimentador (m^3)

V_{cv} = Volumen del agua de curtido vegetal (m^3)

f = Factor de seguridad (30 %)

- **Volumen de la parte cilíndrica**

El sedimentador tiene forma cilíndrica abierta con fondo troncocónico y a nivel de laboratorio se determinó que por cada litro de agua residual de curtido se obtiene 0,205 L de lodos, por lo tanto, en $7,8 \text{ m}^3$ existirá $1,6 \text{ m}^3$ de lodos.

$$V_S = V_{SC} + V_{ST}$$

Ecuación 3-29

$$7,8 \text{ m}^3 = V_{SC} + 1,6 \text{ m}^3$$

$$V_{SC} = 6,2 \text{ m}^3$$

Donde:

V_S = Volumen del sedimentador (m^3)

V_{SC} = Volumen del sedimentador parte cilíndrica (m^3)

V_{ST} = Volumen del sedimentador parte troncocónica (m^3)

- **Cálculo del radio del sedimentador**

$$r_{SC} = \sqrt{\frac{V_{SC}}{\pi h_{SC}}}$$

Ecuación 3-30

$$r_{SC} = \sqrt{\frac{6,2 \text{ m}^3}{\pi \times 1,2 \text{ m}}}$$

$$r_{SC} = 1,33 \text{ m}$$

Donde:

r_{SC} = Radio del sedimentador parte cilíndrica (m)

V_{SC} = Volumen del sedimentador (m^3)

h_{SC} = Altura del sedimentador (1,2 m)

- **Cálculo del diámetro del sedimentador**

$$D_{SC} = 2r_{SC}$$

Ecuación 3-31

$$D_{SC} = 2 \times 1,33 \text{ m}$$

$$D_{SC} = 2,66 \text{ m}$$

Donde:

D_{SC} = Diámetro del sedimentador (m)

r_{SC} = Radio del sedimentador parte cilíndrica (m)

- **Altura de la parte troncocónica del sedimentador**

$$h_{ST} = \frac{3V_{ST}}{\pi(r_{SC}^2 + r_{ST}^2 + (r_{SC} \times r_{ST}))}$$

Ecuación 3-32

$$h_{ST} = \frac{3 \times 1,6 \text{ m}^3}{\pi(1,33^2 + 0,1^2 + (1,33 \times 0,1^2))}$$

$$h_{ST} = 0,85 \text{ m}$$

Donde:

h_{ST} = Altura de la parte troncocónica del sedimentador (m)

V_{ST} = Volumen del sedimentador parte troncocónica (m^3)

r_{SC} = Radio del sedimentador parte cilíndrica (m)

r_{ST} = Radio del sedimentador parte troncocónica (0,1 m)

- **Altura total del sedimentador**

$$h_{TS} = h_{SC} + h_{ST}$$

Ecuación 3-33

$$h_{TS} = 1,2 \text{ m} + 0,85 \text{ m}$$

$$h_{TS} = 2,05 \text{ m}$$

Donde:

h_{TS} = Altura total del sedimentador (m)

h_{SC} = Altura del sedimentador (m)

h_{ST} = Altura de la parte troncocónica del sedimentador (m)

- **Diseño de placas y deflectores**

El sistema de agitación consta de dos paletas planas y rectas, las paletas planas, su forma permite un flujo sin obstrucciones, lo que reduce las pérdidas de energía y mejora la eficiencia, además las palas planas son relativamente simples de fabricar y mantener en comparación con diseños más complejos. Esto puede resultar en costos de fabricación más bajos y una mayor facilidad para realizar tareas de mantenimiento y reparación. En cuanto a los deflectores su propósito es dirigir el flujo de agua hacia el centro del sedimentador, creando una trayectoria circular o espiral descendente que favorece la sedimentación de las partículas suspendidas. Si los deflectores están demasiado lejos de la pared, se pueden formar corrientes laterales que reducen la eficiencia del proceso de sedimentación, por lo tanto, la distancia típica entre los deflectores y la pared del sedimentador podría ser de alrededor del 10 al 15% del diámetro del sedimentador, mientras que, el ancho del deflector generalmente es de 1/12 del diámetro del tanque.

Tabla 3-28: Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal

Deflector (J)	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$	Brecha (b)	$(10 \text{ al } 15\%) \times J$
Longitud del propulsor (D_a)	$(60 \text{ al } 80\%) \times D_t$	Altura de la paleta (C)	$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$
Longitud de las paletas (L)	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	Ancho de las paletas (W)	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{8}$
Diámetro del conector de paletas (D_d)	$D_d = D_a - L$	Diámetro de la potencia (D_{ap})	$(30 \text{ al } 60\%) \times D_t$

Fuente: (Herrera, 2019, p. 64).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

- **Ancho del deflector**

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Ecuación 3-34

$$\frac{J}{2,66 \text{ m}} = \frac{1}{12}$$

$$J = 0,22 \text{ m}$$

Donde:

$D_t = D_{SC}$ = Diámetro del sedimentador (m)

- **Cálculo de la brecha**

$$b = J \times 0,12$$

Ecuación 3-35

$$b = 0,22 \text{ m} \times 0,12$$

$$b = 0,026 \text{ m}$$

- **Altura de la paleta**

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 3-36

$$\frac{C}{2,66 \text{ m}} = \frac{1}{3}$$

$$C = 0,88 \text{ m}$$

- **Longitud del propulsor**

$$D_a = 0,6 \times D_t$$

Ecuación 3-37

$$D_a = 0,6 \times 2,66 \text{ m}$$

$$D_a = 1,6 \text{ m}$$

- **Ancho de las paletas**

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{8}$$

Ecuación 3-38

$$\frac{W}{1,6 \text{ m}} = \frac{1}{8}$$

$$W = 0,2 \text{ m}$$

- **Longitud de las paletas**

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Ecuación 3-39

$$\frac{L}{1,6 m} = \frac{1}{4}$$

$$L = 0,4 m$$

- **Diámetro del conector de paletas**

$$D_d = D_a - L$$

Ecuación 3-40

$$D_d = (1,6 - 0,4) m$$

$$D_{ap} = 1,2 m$$

- **Diámetro para potencia**

$$D_{ap} = 0,3 \times D_t$$

Ecuación 3-41

$$D_{ap} = 0,3 \times 2,66 m$$

$$D_{ap} = 0,8 m$$

- **Consumo de la potencia del motor**

$$P = N_p n^3 D_{ap}^5 \rho$$

Ecuación 3-42

Donde:

P = Consumo de la potencia del motor (m)

N_p = Número de potencia específica

n = Velocidad de rotación (rev/s)

D_{ap} = Diámetro para potencia

ρ = Densidad del agua residual a 20°C (998,2 kg/m³)

Tabla 3-29: Proporciones geométricas para un sistema de agitación “normal”

Temperatura del agua (°C)	Densidad del agua (kg/m ³)	Viscosidad dinámica (Kg/ms)
20	998,2	0,001003
22	997,86	0,000955

Fuente: (Herrera, 2019, p. 82).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

- **Número de Reynolds**

$$N_{Re} = \frac{nD_{ap}^2 \rho}{\mu}$$

Ecuación 3-43

Donde:

n = Velocidad de rotación (100 rpm/60 s = 1,66 rev/s)

D_{ap} = Diámetro para potencia

ρ = Densidad del agua residual a 20°C (998,2 kg/m³)

μ = Viscosidad dinámica (Kg/ms)

Si:

$$N_{Re} < 10 \quad N_p = \frac{K_L}{N_{Re}}$$

$$N_{Re} > 10\ 000 \quad N_p = K_T$$

Tabla 3-30: Valores de K_T y K_L

Tipo de impulsor	K_T	K_L
Turbina, Disco de seis palas ($S_3=0,25$, $S_4=0,2$)	5,75	65
Paleta plana, dos palas ($S_4=0,2$)	1,7	36,5
Ancla	0,35	300

Fuente: (Herrera, 2019, p. 82).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

$$N_{Re} = \frac{1,66 \frac{rev}{s} \times (0,8\ m)^2 \times 998,2 \frac{Kg}{m^3}}{0,001003 \frac{Kg}{mS}}$$

$$N_{Re} = 1,05 \times 10^6 > 10\ 000$$

Como el número de Reynolds es mayor a 10 000 entonces $N_p = K_T$ y reemplazamos en la ecuación 3-42

$$P = K_T n^3 D_{ap}^5 \rho$$

$$P = 1,7 \times \left(1,66 \frac{rev}{s}\right)^3 \times (0,8\ m)^5 \times 998,2 \frac{Kg}{m^3}$$

$$P = 2\ 543,55\ W = 3,41\ Hp$$

Teniendo en cuenta el 85 % de eficiencia en el motor, se tiene:

$$P_m = \frac{P}{0,85}$$

$$P_m = \frac{3,41}{0,85}$$

$$P_m = 4,011 \text{ Hp}$$

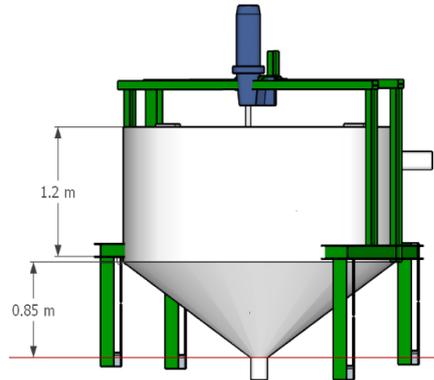


Ilustración 3-14: Tanque de sedimentación

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Dosificación de químicos

La dosificación de químicos se refiere al proceso de agregar una cantidad precisa de sustancias químicas a un sistema, implica determinar la cantidad adecuada de sustancias químicas a agregar, de acuerdo con las necesidades específicas del proceso, cabe mencionar que la dosificación se realizará de manera manual. Esto se basa en consideraciones como la concentración requerida del químico, la calidad del agua o fluido a tratar, el caudal de la corriente, las características de las sustancias químicas y los resultados deseados.

- **Dosificación de cal P-24**

A nivel de laboratorio se empleó 3 gramos de cal P-24 Ca(OH)_2 en un litro de agua residual de curtido vegetal, con el fin de precipitar lodos y a la vez ajustar el pH.

$$D_{cal\ P-24} = Q_d \times \frac{g\ cal\ P-24}{L}$$

Ecuación 3-44

$$D_{cal\ P-24} = \frac{7,8\ m^3}{día} \times \frac{3\ g\ cal\ P-24}{L} \times \frac{1\ 000\ L}{1\ m^3} \times \frac{1\ Kg\ cal\ P-24}{1\ 000\ g\ cal\ P-24}$$

$$D_{cal P-24} = 23,4 \frac{Kg \text{ cal P} - 24}{\text{día}}$$

Donde:

$D_{cal P-24}$ = Dosis óptima de cal P-24 por día (Kg/día)

Q_d = Caudal de diseño del agua de curtido vegetal ($m^3/\text{día}$)

En la Tenería Núñez se producen 200 pieles al mes, como resultado se genera $7,8 m^3$ de agua residual de curtido vegetal, puesto que la producción total al mes es de 200 pieles y se lo realiza en una sola carga en el bombo entonces se necesitará 23,4 Kg de cal P-24 al mes.

$$D_{cal P-24} = 23,4 \frac{Kg \text{ cal P} - 24}{\text{mes}}$$

- **Dosificación de sulfato de aluminio**

En las pruebas a nivel de laboratorio se diluyo 1 g de $Al_2(SO_4)_3$ en 100 mL de agua destilada, de ello la mejor dosis fue de 15 mL de coagulante en una muestra de agua residual de 1 000 mL, es decir se empleó 150 ppm de coagulante.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación 3-45

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,01 \frac{g}{mL} \times 15 mL}{1\ 000 mL}$$

$$C_2 = 1,5 \times 10^{-4} \frac{g}{ml} \times \frac{1\ 000 mL}{1 L} \times \frac{1 Kg}{1\ 000 g}$$

$$C_2 = 0,00015 \frac{Kg}{L}$$

Donde:

C_1 = Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ (1 g/100 mL = 0,01 g/mL)

V_1 = Volumen de la dosificación óptima del coagulante (15 mL)

C_2 = Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ en la dosificación óptima (g/mL)

V_2 = Volumen de la dosificación óptima de la solución (1000 mL)

Cantidad de coagulante requerido al día

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = Q_d \times C_2$$

Ecuación 3-46

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 7\,800 \frac{L}{día} \times 0,00015 \frac{Kg}{L}$$

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 1,17 \frac{Kg}{día}$$

Donde:

$D_{Al_2(SO_4)_3}$ = Dosis óptima de sulfato de aluminio por día (Kg/día)

Q_d = Caudal de diseño del agua de curtido vegetal ($7,8 m^3/día = 7800 L/día$)

C_2 = Concentración de $Al_2(SO_4)_3$ en la dosificación óptima (g/mL)

En la Tenería Núñez se producen 200 pieles al mes, como resultado se genera $7,8 m^3$ de agua residual de curtido vegetal, puesto que la producción total al mes es de 200 pieles y se lo realiza en una sola carga en el bombo entonces se necesitará 1,17 Kg de sulfato de aluminio al mes.

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 1,17 \frac{Kg \text{ de sulfato de aluminio}}{mes}$$

• Dosificación de polielectrolito aniónico

A nivel de laboratorio se empleó polielectrolito aniónico al 1 %, la mejor dosis fue de 2 mL en un volumen de 1 000 mL de agua residual de curtido vegetal, es decir se empleó 2 ppm de floculante.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación 3-47

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,01 \frac{g}{mL} \times 2 mL}{1\,000 mL}$$

$$C_2 = 2 \times 10^{-5} \frac{g}{ml} \times \frac{1\,000 mL}{1 L} \times \frac{1 Kg}{1\,000 g}$$

$$C_2 = 0,00002 \frac{Kg}{L}$$

Donde:

C_1 = Concentración del polielectrolito aniónico (1 g/100 mL = 0,01 g/mL)

V_1 = Volumen de la dosificación óptima del floculante (2 mL)

C_2 = Concentración del polielectrolito aniónico (g/mL)

V_2 = Volumen de la dosificación óptima de la solución (1000 mL)

Cantidad de floculante requerido al día

$$D_{poli} = Q_d \times C_2$$

Ecuación 3-48

$$D_{poli} = 7\,800 \frac{L}{día} \times 0,00002 \frac{Kg}{L}$$

$$D_{poli} = 0,16 \frac{Kg}{día}$$

Donde:

D_{poli} = Dosis óptima del polielectrolito aniónico (Kg/día)

Q_d = Caudal de diseño del agua de curtido vegetal (7,8 m³/día = 7800 L/día)

C_2 = Concentración del polielectrolito aniónico (g/mL)

En la Tenería Núñez se producen 200 pieles al mes, como resultado se genera 7,8 m³ de agua residual de curtido vegetal, puesto que la producción total al mes es de 200 pieles y se lo realiza en una sola carga en el bombo entonces se necesitará 0,016 Kg de polielectrolito aniónico al mes.

$$D_{poli} = 0,16 \frac{Kg \text{ de polielectrolito aniónico}}{mes}$$

3.5.2.8 Dimensionamiento del lecho de secado

Después de que las aguas residuales pasan por diversos procesos de tratamiento, se generan lodos que contienen materia orgánica y otros compuestos indeseables, para reducir el contenido de agua en los lodos y hacerlos más manejables y adecuados para su disposición final, se emplea el lecho de secado, que consiste en una estructura o área preparada específicamente para el secado de los lodos, permitiendo que el exceso de agua se evapore de manera natural o con la ayuda de

mecanismos de drenaje. El producto final de este proceso son los biosólidos secos, que ocupan menos volumen y contienen una mayor concentración de materia orgánica y nutrientes. Estos biosólidos secos pueden utilizarse como abono o fertilizante en la agricultura o ser dispuestos de forma más segura en vertederos o instalaciones de disposición final adecuadas.

- **Carga de sólidos suspendidos en el efluente**

$$C_{SS} = Q_d \times SS$$

Ecuación 3-49

$$C_{SS} = 7,8 \frac{m^3}{día} \times 1,047 \frac{Kg}{m^3}$$

$$C_{SS} = 8,17 \frac{Kg}{día}$$

Donde:

C_{SS} = Carga de sólidos suspendidos (Kg/día)

Q_d = Caudal de diseño del agua de curtido vegetal ($7,8 m^3/día$)

SS = Sólidos suspendidos ($1\ 047\ mg/L=1,047\ Kg/m^3$)

- **Masa de sólidos que conforman los lodos**

$$M_{SL} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C_{SS}) + (0,5 \times 0,3 \times C_{SS})$$

Ecuación 3-50

$$M_{SL} = \left(0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times 8,17 \frac{Kg}{día}\right) + \left(0,5 \times 0,3 \times 8,17 \frac{Kg}{día}\right)$$

$$M_{SL} = 2,65 \frac{Kg}{día}$$

Donde:

C_{SS} = Carga de sólidos suspendidos (Kg/día)

M_{SL} = Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg/día)

- **Volumen diario de lodos digeridos**

$$V_{dL} = \frac{M_{SL}}{\rho_{lodo} \times \left(\frac{\% \text{ sólidos}}{100 \%}\right)}$$

Ecuación 3-51

$$V_{dL} = \frac{2,65 \frac{Kg}{día}}{1,04 \frac{Kg}{L} \times \left(\frac{12 \%}{100 \%}\right)}$$

$$V_{dL} = 21,23 \text{ L/día}$$

Donde:

V_{dL} = Volumen diario de lodos digeridos (L/día)

M_{SL} = Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg/día)

ρ_{lodo} = Densidad de los lodos (1,04 Kg/L, dato según OPS/CEPIS/05.163)

% sólidos = (varía entre 8 a 12%, dato según OPS/CEPIS/05.163)

- **Volumen de lodos a extraer del tanque**

Tabla 3-31: Tiempo requerido para digestión de lodos

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163, 2005, p. 17).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

$$V_{el} = V_{dL} \times T_d$$

Ecuación 3-52

$$V_{el} = 21,23 \frac{L}{día} \times 40 \text{ días}$$

$$V_{el} = 849,2 \text{ L} = 0,849 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{el} = Volumen de lodos a extraer (m^3)

V_{dL} = Volumen diario de lodos digeridos (L/día)

T_d = Tiempo de digestión (a 20 °C es 40 días, dato tomado de la tabla 3-31)

- **Área del lecho de secado**

$$A_{LS} = \frac{V_{el}}{H_{LS}}$$

Ecuación 3-53

$$A_{LS} = \frac{0,849 \text{ m}^3}{0,25 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 3,40 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{LS} = Área del lecho de secado (m^2)

V_{el} = Volumen de lodos a extraer (m^3)

H_{LS} = Profundidad de aplicación (varía entre 0,20 a 0,40 m, dato según OPS/CEPIS/05.163)

- **Ancho del lecho de secado**

$$B_{LS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$$

Ecuación 3-54

$$B_{LS} = \frac{3,40 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$B_{LS} = 1,133 \text{ m}$$

Donde:

B_{LS} = Ancho del lecho de secado (m)

A_{LS} = Área del lecho de secado (m^2)

L_{LS} = Longitud del lecho de secado (varía entre 3 a 6 m, según OPS/CEPIS/05.163)

- **Volumen del lecho de secado**

$$V_{LS} = L_{LS} \times B_{LS} \times H_{LS}$$

Ecuación 3-55

$$V_{LS} = 3 \text{ m} \times 1,133 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$$

$$V_{LS} = 0,849 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{LS} = Volumen del lecho de secado (m^3)

B_{LS} = Ancho del lecho de secado (m)

L_{LS} = Longitud del lecho de secado (m)

H_{LS} = Profundidad del lecho de secado (m)

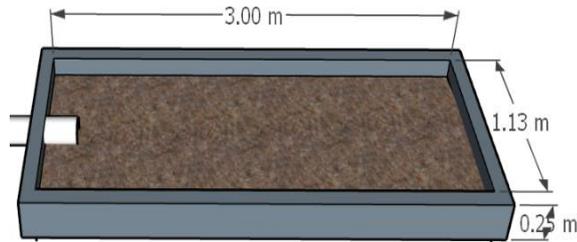


Ilustración 3-15: Lecho de secado

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

3.5.2.9 Dimensionamiento del filtro

La filtración de aguas residuales es un proceso esencial en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y consiste en pasar el agua residual a través de diversos medios o materiales filtrantes para eliminar partículas suspendidas y sólidos presentes en el agua antes de su descarga o reutilización. La filtración en una PTAR es crucial para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos antes de ser liberada al medio ambiente o enviada al alcantarillado.

Por otra parte, una vez que quede el sobrenadante en el tanque de sedimentación pasará por la tubería y tendrá que subir 2,25 m para poder ingresar al tanque de filtración, por lo cual se necesita una bomba de 0,5 Hp ya que, esta bomba puede elevar el agua a una altura de alrededor de 5 metros.

Tabla 3-32: Tiempo requerido para digestión de lodos

Parámetro	Valor	Valor típico
Tasa de filtración (m/día)	2 – 12	9
Altura de agua sobre el lecho	1 – 1,5	1,25
Altura de drenaje	0,2 – 0,7	0,55

Fuente: ((Chamorro, 2019, p. 61).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

- **Número de filtros**

$$n_f = 0,044\sqrt{Q_d}$$

Ecuación 3-56

$$n_f = 0,044\sqrt{7,8\frac{m^3}{día}}$$

$$n_f = 1$$

Donde:

n_f = Número de filtros (adimensional)

Q_d = Caudal de diseño ($m^3/día$)

- **Área del filtro**

$$A_f = \frac{Q_d}{T_f}$$

Ecuación 3-57

$$A_f = \frac{7,8\frac{m^3}{día}}{9\frac{m}{día}}$$

$$A_f = 0,87m^2$$

Donde:

A_f = Área del filtro (m^2)

Q_d = Caudal de diseño ($7,8 m^3/día$)

T_f = Tasa de filtración ($m/día$, dato considerado de la tabla 3-32)

- **Coefficiente de costo mínimo**

$$K = \frac{2 \times n_f}{n_f + 1}$$

Ecuación 3-58

$$K = \frac{2 \times 1}{1 + 1}$$

$$K = 1$$

Donde:

K = Coeficiente de costo mínimo

n_f = Número de filtros (adimensional)

- **Ancho del filtro**

$$B_f = \sqrt{\frac{A_f}{K}}$$

Ecuación 3-59

$$B_f = \sqrt{\frac{0,87m^2}{1}}$$

$$B_f = 0,93 \text{ m}$$

Donde:

A_f = Área del filtro (m^2)

K = Coeficiente de costo mínimo

B_f = Ancho del filtro (m)

- **Largo del filtro**

$$L_f = \sqrt{A_f \times K}$$

Ecuación 3-60

$$L_f = \sqrt{0,87m^2 \times 1}$$

$$L_f = 0,93 \text{ m}$$

Donde:

A_f = Área del filtro (m^2)

K = Coeficiente de costo mínimo

L_f = Largo del filtro (m)

- **Altura del lecho filtrante**

$$H_{lf} = e_a + e_c + e_f + e_g$$

Ecuación 3-61

$$H_{lf} = 0,25 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,12 \text{ m} + 0,20 \text{ m}$$

$$H_{lf} = 0,82 \text{ m}$$

Donde:

H_{lf} = Altura del lecho filtrante (m)

e_a = Espesor de la capa de arena (0,25 m)

e_c = Espesor de la capa de carbón activado granulado (0,25 m)

e_f = Espesor de la capa de grava fina (0,12 m)

e_g = Espesor de la capa de grava gruesa (0,20 m)

- **Altura del filtro**

$$H_f = f(C_a + H_{lf} + F_c)$$

Ecuación 3-62

$$H_f = 1,10(1 \text{ m} + 0,82 \text{ m} + 0,2 \text{ m})$$

$$H_f = 2,22 \text{ m}$$

Donde:

H_f = Altura del filtro (m)

H_{lf} = Altura del lecho filtrante (m)

C_a = Altura de la capa de agua (m)

f = Factor de seguridad (10 %)

F_c = Altura de drenaje (m)

- **Volumen del filtro**

$$V_f = A_f \times H_f$$

Ecuación 3-63

$$V_f = 0,87 \text{ m}^2 \times 2,22 \text{ m}$$

$$V_f = 1,93 \text{ m}^3$$

Donde:

V_f = Volumen del filtro (m^3)

H_f = Altura del filtro (m)

A_f = Área del filtro (m^2)

Sistema de drenaje

A la salida del filtro se empleará una tubería de drenaje perforada PVC de 110 mm.

Tabla 3-33: Parámetros de diseño de laterales

Parámetro	Valor	Valor
Espaciamiento de los laterales	m	1,5 – 2
Diámetro de los orificios de los laterales	mm	2 – 4
Espaciamiento de los orificios de los laterales	cm	10 – 30
Velocidad en el orificio	m/s	0,3

Fuente: (Sánchez, 2019, p. 45).

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

- **Área de cada orificio**

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

Ecuación 3-64

$$A_o = \frac{\pi \times (0,0035 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_o = 9,62 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Donde:

A_o = Volumen del filtro (m^2)

D_o = Diámetro del orificio (3 mm, dato tomado de la tabla 3-32)

- Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_o = A_o \times v_o$$

Ecuación 3-65

$$Q_o = 9,62 \times 10^{-6} m^2 \times 0,3 m/s$$

$$Q_o = 0,00000289 \frac{m^3}{s}$$

Donde:

Q_o = Caudal que ingresa a cada orificio (m^3/s)

A_o = Volumen del filtro (m^2)

v_o = Velocidad en el orificio (0,3 m/s, dato tomado de la tabla 3-32)

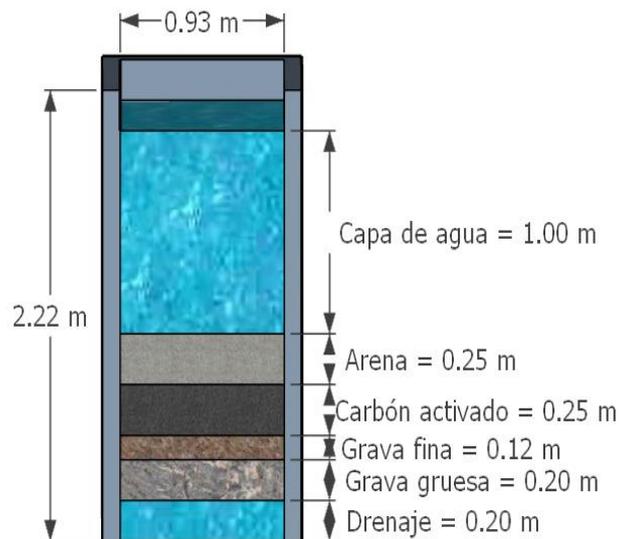


Ilustración 3-16: Tanque de filtración

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de la caracterización del agua residual de curtido vegetal

Tabla 4-1: Resultado de la caracterización del efluente tratado de curtido vegetal

Parámetros	Unidad	Agua sin tratar	Normativa TULSMA	Límites permisibles	Agua tratada	Normativa TULSMA
Potencial de Hidrógeno	-	4,31	No cumple	6 - 9	7,42	Si cumple
Color	Pt/Co	6 804	-	-	126	-
Conductividad	mSiems/cm	14,97	-	-	4,83	-
Aceites y Grasas	mg/L	72,33	No cumple	70,0	19,5	Si cumple
Sulfuros	mg/L	16,60	No cumple	1,0	0,8	Si cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1 047	No cumple	220,0	3	Si cumple
Sólidos Sedimentables	mL/L	12,50	Si cumple	20,0	< 0,1	Si cumple
Sólidos Totales	mg/L	17 597	No cumple	1 600,0	1 544	Si cumple
Temperatura	°C	19,35	Si cumple	< 40,0	20	Si cumple
Turbiedad	NTU	1 037,33	-	-	3,13	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	19 467	No cumple	500	405	Si cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1 833	No cumple	250	125	Si cumple
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	-	-	2 000	-	-

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Como se puede evidenciar en la tabla 4-1 todos los parámetros luego de realizar las respectivas pruebas de tratabilidad están dentro de la normativa ambiental vigente, es importante mencionar que tanto en el agua sin tratar como en el agua tratada no existe la presencia de coliformes fecales.

4.2 Porcentaje de remoción del tratamiento

Tabla 4-2: Porcentaje de remoción de los contaminantes del efluente de curtido vegetal

Parámetros	Unidad	Agua sin tratar	Límites permisibles	Agua tratada	% de Remoción
Color	Pt/Co	6 804	-	126	98,15
Conductividad	mSiems/cm	14,97	-	4,831	67,75
Aceites y Grasas	mg/L	72,33	70,0	19,5	73,04
Sulfuros	mg/L	16,60	1,0	0,8	95,18
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1 047	220,0	3	99,71
Sólidos Sedimentables	mL/L	12,50	20,0	< 0,1	99,20
Sólidos Totales	mg/L	17 597	1 600,0	1 544	91,22
Turbiedad	NTU	1037,33	-	3,13	99,69
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	19 467	500	405	97,91
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1 833	250	125	93,18

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Como se puede evidenciar mediante la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada, el promedio general de remoción supera el 90 %, estableciendo una tratabilidad eficaz, ya que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA.

Tabla 4-3: Porcentaje de remoción del color del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Color	Pt/Co	6 804	-	126	98,15

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

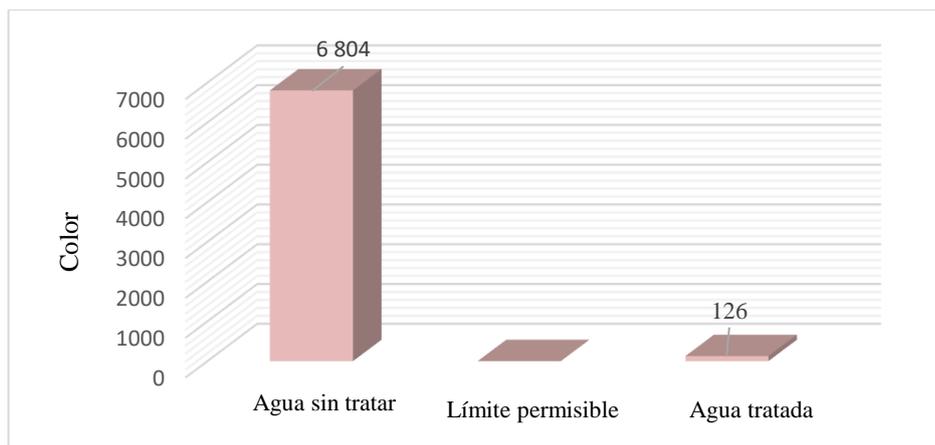


Ilustración 4-1. Remoción de color

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-1 se puede observar que el color del agua residual de curtido vegetal disminuyó considerablemente de 6 804 Pt/Co a 126 Pt/Co, por ende, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente y tiene un porcentaje de remoción de 98,148 %.

Tabla 4-4: Porcentaje de remoción de aceites y grasas del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Aceites y Grasas	mg/L	72,333	70	19,5	73,04

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

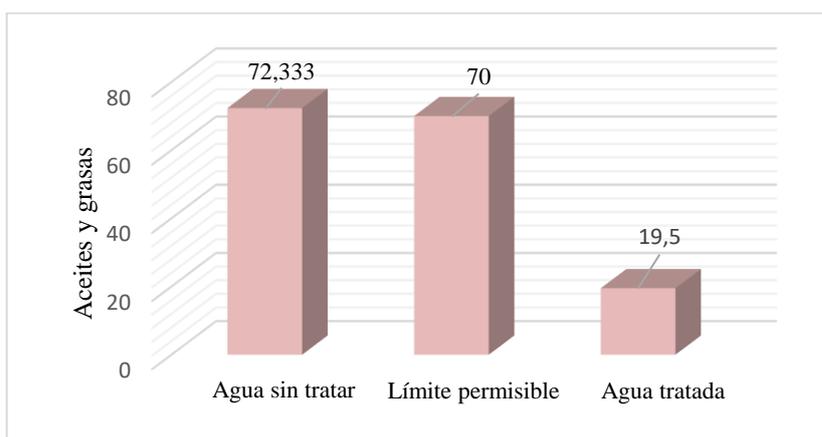


Ilustración 4-2. Remoción de aceites y grasas

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-2 se puede evidenciar que el parámetro de aceites y grasas del agua residual de curtido vegetal disminuyó de 72,333 mg/L a 19,5 mg/L, como el límite permisible es 70 mg/L,

este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente, y tiene un porcentaje de remoción de 73,04 %.

Tabla 4-5: Porcentaje de remoción de sulfuros del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Sulfuros	mg/L	16,6	1	0,8	95,18

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

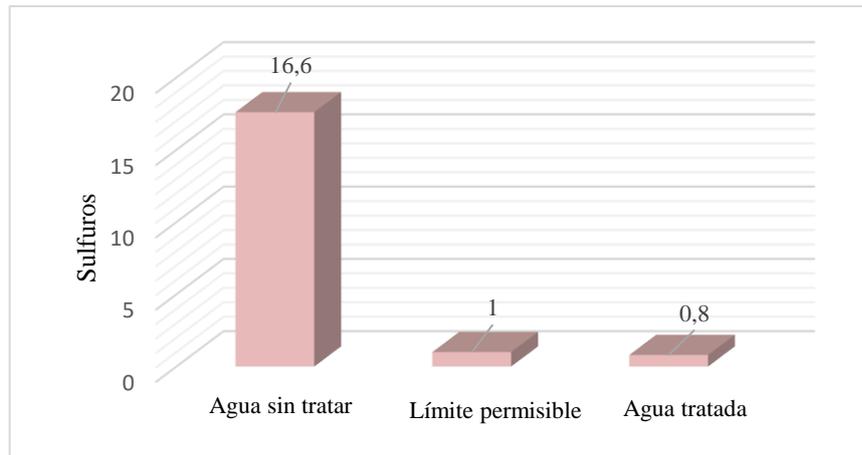


Ilustración 4-3. Remoción de sulfuros

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-3 se puede observar que los sulfuros del efluente de curtido vegetal bajaron de 16,6 mg/L a 0,8 mg/L, como el límite permisible es 1 mg/L, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente y tiene un porcentaje de remoción de 95,18 %.

Tabla 4-6: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1 047	220	3	99,71

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

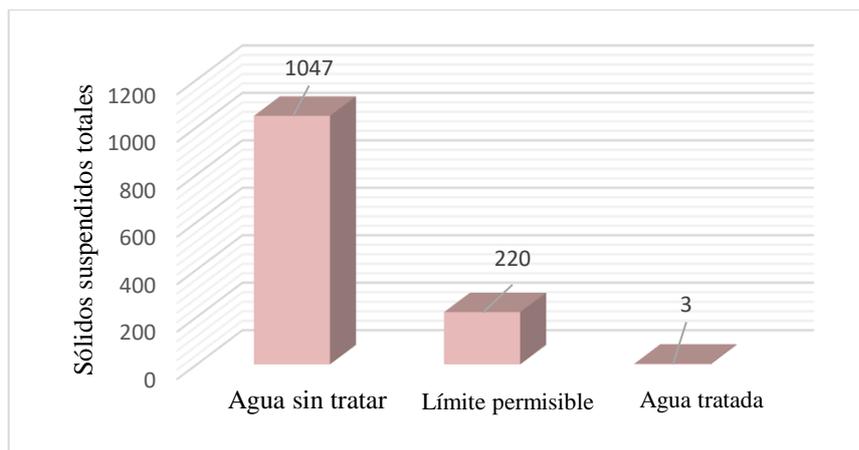


Ilustración 4-4. Remoción de sólidos suspendidos totales

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-4 se puede observar que el efluente de curtido vegetal tiene un porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales de 99,71 % y los valores disminuyeron de 1 047 mg/L a 3 mg/L, por ende, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente.

Tabla 4-7: Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Sólidos Sedimentables	mL/L	12,5	20	< 0,1	99,20

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

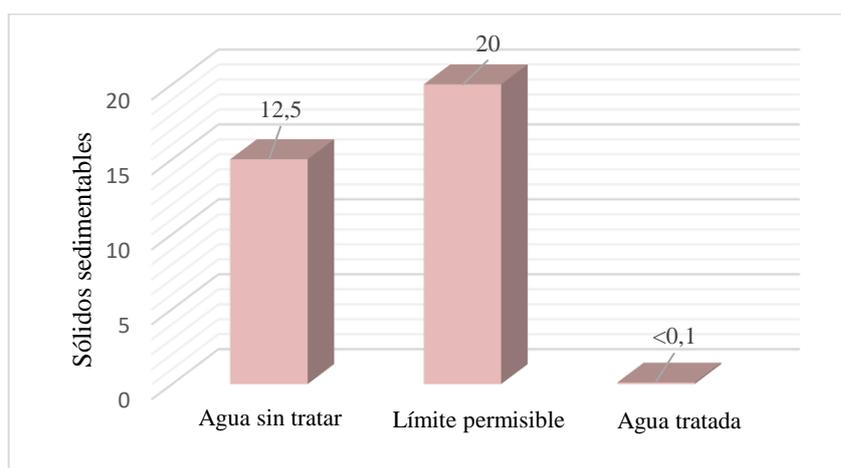


Ilustración 4-5. Remoción de sólidos sedimentables

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-5 se puede observar que el agua residual de curtido vegetal tiene un porcentaje de remoción de sólidos sedimentables de 99,20 % y los valores disminuyeron de 12,5 mL/L a < 0,1 mL/L, por ende, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente.

Tabla 4-8: Porcentaje de remoción de sólidos totales del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Sólidos Totales	mg/L	17 597	1 600	1 544	91,22

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

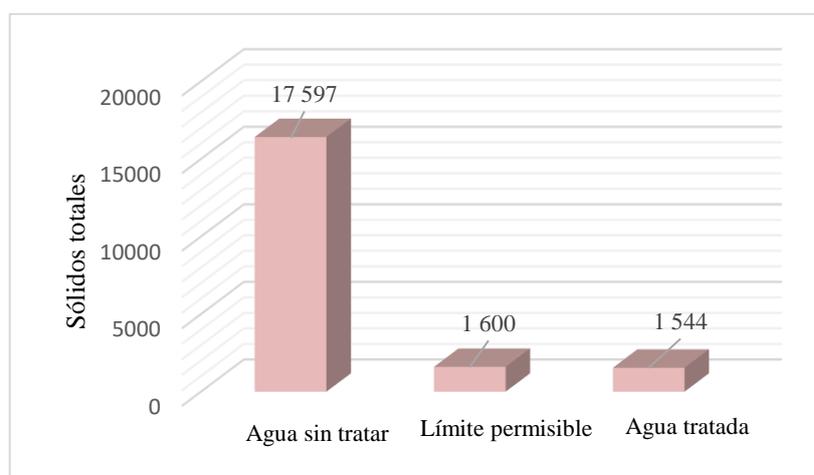


Ilustración 4-6. Remoción de sólidos totales

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-6 se puede observar que el agua residual de curtido vegetal tiene un porcentaje de remoción de sólidos totales de 91,22 % y los valores disminuyeron de 17 597 mg/L a 1 544 mg/L, por ende, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente.

Tabla 4-9: Porcentaje de remoción de la turbiedad del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Turbiedad	NTU	1 037,33	-	3,13	99,69

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

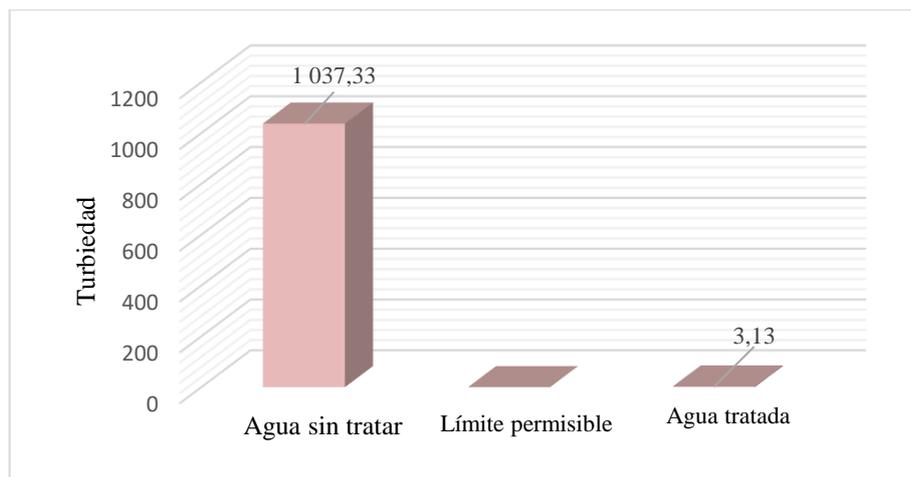


Ilustración 4-7. Remoción de la turbiedad

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-7 se puede observar que la turbiedad del agua residual de curtido vegetal disminuyó de 1 037,33 NTU a 3,13 NTU, además, tiene un porcentaje de remoción de 99,69 %.

Tabla 4-10: Porcentaje de remoción de la DQO del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	19 467	500	405	97,91

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

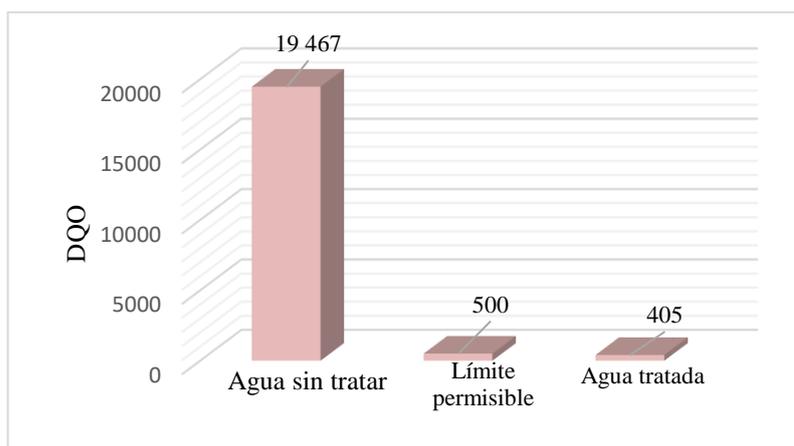


Ilustración 4-8. Remoción de la DQO

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-8 se puede observar que el DQO del efluente de curtido vegetal disminuyó de 19 467 mg/L a 405 mg/L, como el límite permisible es 500 mg/L, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente y tiene un porcentaje de remoción de 97,91 %.

Tabla 4-11: Porcentaje de remoción de la DBO del efluente de curtido vegetal

Parámetro	Unidad	Agua sin tratar	Límite permisible	Agua tratada	% de Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1 833	250	125	93,18

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

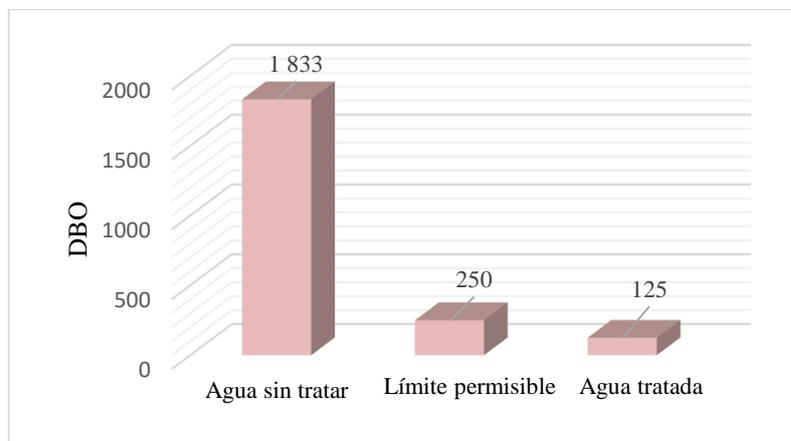


Ilustración 4-9. Remoción de la DBO

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

En la ilustración 4-9 se puede observar que el DBO del efluente de curtido vegetal disminuyó de 1 833 mg/L a 125 mg/L, como el límite permisible es 250 mg/L, este parámetro está dentro de la normativa ambiental vigente y tiene un porcentaje de remoción de 93,18 %.

4.3 Resultados del rediseño de la PTAR

Para el rediseño se establece que la empresa cuenta con un canal de rejillas, lo que se implementará serán las rejillas dentro del canal, también se implementará un tanque de aireación, tanque de sedimentación, tanque de filtración y un lecho de secado, mientras que, el tanque de almacenamiento de 8 m³ se mantiene.

Tabla 4-12: Resultados del cálculo del caudal

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Caudal experimental	Q	m ³ /día	6
Caudal de corrección	Q _c	m ³ /día	1,8
Caudal de diseño	Q _d	m ³ /día	7,8

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-13: Dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Longitud de las barras	L _b	m	0,45
Ángulo de inclinación	θ	grados	45
Separación entre barras	S	m	0,015
Altura del tirante del canal	h _{ar}	m	0,00086
Altura del tirante de construcción	h _a	m	0,30086
Espesor de la barra	e	m	0,013
Número de barras	N _b	-	11
Nivel máximo de agua	n _{max}	m	0,00086
Longitud sumergida de las barras	L _s	m	0,00122
Pérdida de carga	H	m	0,0088

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-14: Dimensionamiento del tanque de aireación

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Longitud del tanque	L _{TA}	m	2,93
Ancho del tanque	B _{TA}	m	1,95
Altura del tanque	H _{TA}	m	1,38
Volumen del tanque	V _{TA}	m ³	7,88
Caudal de aire	Q _{aire}	m ³ /s	1,53
Potencia del compresor	P _{comp}	Hp	0,582
Diámetro de orificios del difusor	∅ _o	m	0,0043
Número de orificios del difusor	N _o	-	14

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-15: Dimensionamiento del sedimentador

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Volumen del sedimentador	V_S	m^3	7,8
Volumen de la parte cilíndrica	V_{SC}	m^3	6,2
Volumen de parte troncocónica	V_{ST}	m^3	1,6
Radio del sedimentador parte cilíndrica	r_{SC}	m	1,33
Altura del sedimentador parte cilíndrica	h_{SC}	m	1,2
Altura del sedimentador parte troncocónica	h_{ST}	m	0,85
Altura total del sedimentador	h_{TS}	m	2,05
Sistema de agitación			
Longitud del propulsor	D_a	m	1,6
Ancho de las paletas	W	m	0,2
Longitud de las paletas	L	m	0,4
Diámetro del conector de paletas	D_d	m	1,2
Altura de la paleta	C	m	0,88
Ancho del deflector	J	m	0,22
Potencia del motor	P_m	Hp	4,001
Dosificación de químicos			
Cal P-24	$D_{cal\ P-24}$	Kg/mes	23,4
Sulfato de aluminio	$D_{Al_2(SO_4)_3}$	Kg/mes	1,17
Polielectrolito aniónico	D_{poli}	Kg/mes	0,16

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-16: Dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Carga de sólidos suspendidos	C_{SS}	Kg/día	8,17
Masa de sólidos que conforman los lodos	M_{SL}	Kg/día	2,65
Volumen de lodos a extraer	V_{el}	m^3	0,849
Ancho del lecho de secado	B_{LS}	m	1,133
Longitud del lecho de secado	L_{LS}	m	3
Profundidad del lecho de secado	H_{LS}	m	0,25
Área del lecho de secado	A_{LS}	m^2	3,40
Volumen del lecho de secado	V_{LS}	m^3	0,849

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-17: Dimensionamiento del tanque filtración

Parámetro	Simbología	Unidad	Valor
Número de filtros	n_f	-	1
Área del filtro	A_f	m^2	0,87
Ancho del filtro	B_f	m	0,93
Largo del filtro	L_f	m	0,93
Altura de capa de agua	C_a	m	1
Altura de drenaje	F_c	m	0,2
Altura de lecho filtrante	H_{lf}	m	0,82
Altura total del filtro	H_f	m	2,22
Volumen tanque de filtración	V_f	m^3	1,93
Espesor de la capa de arena	e_a	m	0,25
Espesor de la capa de carbón activado granulado	e_c	m	0,25
Espesor de la capa de grava fina	e_f	m	0,12
Espesor de la capa de grava gruesa	e_g	m	0,20
Sistema de drenaje			
Área de cada orificio	A_o	m^2	$9,62 \times 10^{-6}$
Caudal que ingresa a cada orificio	Q_o	m^3/s	0,00000289

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

4.4 Proceso de tratamiento

Para el tratamiento del agua residual se implementarán rejillas con el fin de retener ciertos sólidos y residuos no deseados, luego el agua residual pasará a un tanque de aireación por 3 horas, el cual servirá para disminuir los sulfuros y la demanda bioquímica de oxígeno, seguidamente ingresará a un tanque de sedimentación, el cual servirá para precipitar los lodos con ayuda de Cal P-24, además se añadirá sulfato de aluminio y polielectrolito aniónico que funcionan como coagulante y floculante respectivamente, por la parte inferior del sedimentador saldrán los lodos, los cuales serán enviados a un lecho de secado, mientras que el sobrenadante del agua residual que queda en el tanque de sedimentación será enviado a un tanque de filtración, compuesto por arena, carbón activado granulado, grava fina y grava gruesa.

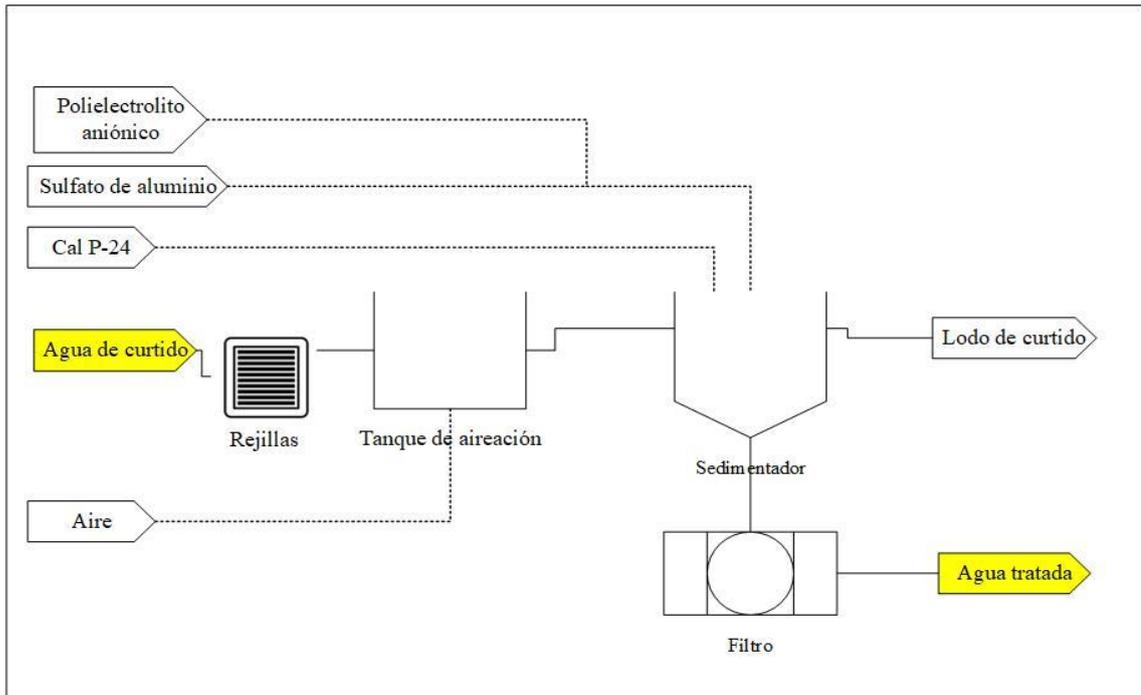


Ilustración 4-10. Propuesta de la PTAR para el proceso de curtido vegetal

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

4.5 Análisis del costo del proyecto

Para determinar el costo del proyecto se estableció el costo de la adecuación y desmonte del área en la cual se va a ubicar la planta de tratamiento, el costo de la implementación de los equipos y finalmente se estableció el presupuesto de los productos químicos que se van a emplear.

4.5.1 Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

Tabla 4-18: Presupuesto de implementación de equipos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
Preparación del terreno				
Limpieza y desbroce	m ²	85	1	85
Subtotal				85
REJILLAS				
Rejilla metálica de acero inoxidable	Unidad	1	60	60
Adecuación del canal	m ²	1	8	8
Replanteo y nivelación	m ²	1	12	12
Subtotal				80
TANQUE DE AIREACIÓN				
Difusor de burbuja fina	Unidad	11	15	165
Tubería PVC de 2"	m	4	5	20
Tubería PVC de 85 mm	m	3	5	15
Malla metálica electrosoldada	m ²	14	5	70
Hormigón simple F'C=210 kg/cm ²	m ³	3	120	360
Compresor de 1 Hp	Unidad	1	269	269
Codo PVC 2" de 90°	Unidad	4	1,50	6
Válvula de compuerta de 2"	Unidad	1	13	13
Bomba de 0,5 Hp	Unidad	1	68	68
Subtotal				986
SEDIMENTADOR				
Hormigón simple F'C=210 kg/cm ²	m ³	3	120	360
Malla metálica electrosoldada 6 mm 6 x 2,10 m	m ²	6,3	5	31,5
Estructura de soporte de acero	m	24	4,15	100
Láminas de acero inoxidable PL e=6mm (Paletas)	Kg	2	20	40
Acero AISI 1018 L=1600 mm, D= 25 mm (Eje)	Kg	15	1,50	22,50
Suministro e instalación de motor de 4 HP	Unidad	1	400	400
Bomba de 0,5 Hp	Unidad	1	68	68

Tubería PVC 2"	m	6	5	30
Codo PVC 2" de 90°	Unidad	4	1,50	6
Válvula de compuerta 2"	Unidad	1	13	13
Subtotal				1 071
LECHO DE SECADO				
Hormigón simple F´C=210 kg/cm2	m ³	1	120	120
Malla metálica electrosoldada 6 mm 6 x 2,10 m	m ²	2,65	5	13,25
Tubería PVC 110 mm	m	2	6	12
Codo PVC 110 mm de 90°	Unidad	1	12	12
Válvula de compuerta de 110 mm	Unidad	1	80	80
Subtotal				237,25
TANQUE DE FILTRACIÓN				
Hormigón simple F´C=210 kg/cm2	m ³	2	120	240
Malla metálica electrosoldada 6 mm 6 x 2,10 m	m ²	5	5	25
Relleno de arena	m ³	2	30	60
Relleno de carbón activado granulado	m ³	2	80	160
Relleno de grava fina uniforme lavado sin finos 3/8"	m ³	1	8,79	8,79
Relleno de grava gruesa lavada sin finos 3/4" - 2"	m ³	2	8,79	17,58
Tubería PVC 2"	m	3,5	5	17,5
Codo PVC 2" de 90°	Unidad	2	1,50	3
Válvula de compuerta 2"	Unidad	1	13	13
Bomba de 0,5 Hp	Unidad	1	68	68
Subtotal				612,87
TOTAL				3 072,12
IVA (12 %)				368,65
TOTAL (Considerando el 12 % del IVA)				3 440,77

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

Tabla 4-19: Presupuesto de productos químicos

Descripción	Dosis por carga	Dosis por mes	Dosis por año	Costo unitario por Kg (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Sulfato de aluminio	1,17	1,17	14,04	5	5,85	70,2
Polielectrolito aniónico	0,16	0,16	1,92	6,50	1,04	12,48
Cal P-24	23,4	23,4	280,8	1	23,4	280,8
Subtotal						363,48
IVA (12 %)						43,62
TOTAL						407,10

Realizado por: Landa, Mishell, 2023.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Tenería Núñez se llevó a cabo considerando que en la Tenería existe un sistema de tratamiento físico de aguas residuales provenientes de la etapa de curtido vegetal, que consta de un filtro improvisado de malla metálica, un tanque de almacenamiento de 8 m³ y dos tanques de 1,5 m³ que sirven para precipitar el agua residual antes de ser enviada al sistema de alcantarillado. Se realizó un diagnóstico a la planta de tratamiento de aguas residuales de la Tenería Núñez para determinar en qué condiciones se encuentra, de ello se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción: turbiedad 11,24%, sulfuros 13,41%, DQO 1,64%, DBO 6,90%, mediante estos resultados se puede evidenciar que, a pesar del tratamiento físico que se le da al agua residual los parámetros están fuera de los límites permisibles establecidos por el TULSMA.

Las muestras de las aguas residuales de curtido vegetal se tomó del tanque de almacenamiento y se llevó a cabo de acuerdo con las normas NTE INEN 2169:2013 que establece las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad de aguas residuales para su respectiva caracterización, mientras que, para el manejo y la conservación de las muestras se realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169: 2013, que permite seleccionar el tipo de recipiente que va a contener la muestra, preparación de recipientes, transporte de muestras, etc.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica y microbiológica se realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, de los resultados obtenidos se determinó que los siguientes parámetros se encontraban fuera de los límites

permisibles: aceites y grasas 72,333 mg/L, sulfuros 16,6 mg/L, pH 4,307, sólidos suspendidos totales 1047 mg/L, sólidos totales 17597 mg/L, DQO 19 467 mg/L y DBO 1 833 mg/L, dichos resultados resaltan la importancia de realizar el rediseño al sistema de tratamiento de aguas residuales de la Tenería Núñez.

De acuerdo al índice de biodegradabilidad que fue de 0,042 el tratamiento idóneo fue un tratamiento fisicoquímico el cual consiste de los siguientes pasos: aireación del agua residual por un tiempo de 3 horas; precipitación de lodos con cal, para ello se empleó 3 gramos de cal P-24, se mezcló con una varilla de agitación y se dejó sedimentar; coagulación-floculación, el coagulante con el que se obtuvieron mejores resultados fue el sulfato de aluminio (1 %) y se empleó 15 mL a 100 rpm, mientras que como floculante se empleó 2 mL de polielectrolito aniónico (1 %) a 30 revoluciones por 15 minutos, luego se dejó sedimentar por 3 horas y finalmente el sobrenadante se lo paso por un filtro compuesto por arena, carbón activado granulado, grava fina y grava gruesa. Cabe mencionar que antes de realizar la filtración del agua residual, se realizó pruebas de tratabilidad con el fin de reducir el color, una vez finalizado el proceso de coagulación-floculación el color seguía con un valor alto, para ello se realizaron dos pruebas, en la primera prueba se empleó NaClO al 1 %, mientras que en la segunda prueba se utilizó H₂O₂ al 10 %, se trabajó con concentraciones de 20, 40, 60, 80 y 100 ppm, sin embargo no se obtuvieron buenos resultados pues el porcentaje de remoción tanto al emplear NaClO como H₂O₂ fue menor al 40 %, por tal motivo se decidió emplear un filtro con el cual se obtuvieron excelentes resultados teniendo un porcentaje de remoción del 98,15 %.

Una vez que se finalizó las pruebas de tratabilidad del agua residual, se procedió a caracterizar el agua tratada tanto fisicoquímica como microbiológica, obteniendo los siguientes porcentajes de remoción: color 98,15 %, conductividad 67,75 %, aceites y grasas 73,04 %, sulfuros 95,18 %, sólidos suspendidos totales 99,71 %, sólidos sedimentables 99,20 %, sólidos totales 91,22 %, turbiedad 99,69 %, DQO 97,91 % y DBO 93,18 %, con estos resultados se comprobó que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA para descargar el agua al sistema de alcantarillado, además, todos los parámetros cuentan con un porcentaje de remoción mayor al 90 %.

Por otro lado, para un caudal de diseño de 7,8 m³/día la planta de tratamiento de aguas residuales contará con un sistema de rejillas de limpieza manual que tiene 45 grados de inclinación, el número de barras es 11, el espesor de la barra es de 0,013 m y la separación es de 0,015 m; tanque de almacenamiento con una capacidad de 8 m³; tanque de aireación con un volumen de 7,88 m³, longitud de 2,93 m, ancho de 1,95 m y altura de 1,38 m; tanque de sedimentación de forma

cilíndrica abierto con fondo troncocónico, cuenta con un radio de 2,66 m y una altura de 2,05 m; lecho de secado que tiene de longitud 3 m, ancho 1,13 m y profundidad de 0,25 m lo cual va ayudar a un secado rápido de los lodos y finalmente la planta contará con un tanque de filtración compuesto por arena, carbón activado granulado, grava fina y grava gruesa, que tiene un alto de 2,22 m, mientras que el largo y el ancho es de 0,93 m. Para el transporte del agua se emplearán tuberías de PVC de 2" y para subir el agua se emplearán bombas de 0,5 Hp las cuales son idóneas para elevar una altura de aproximadamente 5 metros, también se emplearán válvulas de compuerta, mientras que, para el transporte de lodos se emplearán tuberías de PVC de 110 mm.

La planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de la etapa de curtido vegetal tendrá un área de 85 m², y la Tenería Núñez cuenta con el espacio suficiente para implementar dicha planta de tratamiento. La inversión inicial que se requiere para el rediseño de la planta de tratamiento es de \$ 3 440,77; dicho valor comprende la adecuación y desmonte del área, adquisición de equipos, diseño e implementación del sistema de rejillas, diseño del tanque de aireación, sedimentación, filtración y del lecho de secado, con respecto al presupuesto que se requiere para la adquisición de los productos químicos que se van a emplear el valor a invertir es de \$ 407,10.

CONCLUSIONES

- Se rediseñó el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Tenería Núñez ubicada en la Ciudad de Ambato, con ello se pudo determinar las siguientes variables para el rediseño: tipo de tratamiento, caudal experimental, caudal de diseño y dosificación de químicos.
- Se determinó las características fisicoquímicas de las aguas residuales provenientes de la operación de curtido vegetal y se obtuvo los siguientes resultados: aceites y grasas 72,333 mg/L, sulfuros 16,6 mg/L, pH 4,307, sólidos suspendidos totales 1047 mg/L, sólidos totales 17597 mg/L, DQO 19 467 mg/L y DBO 1 833 mg/L. Estos fueron los parámetros que están fuera de los límites permisibles establecidos en la Tabla 8. Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua según el Acuerdo Ministerial 097 A.
- Se llevaron a cabo 4 pruebas de tratabilidad, para ello se realizó la aireación del agua residual de curtido vegetal por 3 horas, luego se precipito los lodos empleando cal P-24, al sobrenadante se realizó el proceso de coagulación y floculación con 15 mL de sulfato de aluminio a 100 rpm y 2 mL de polielectrolito aniónico a 30 rpm por 15 minutos, se dejó

sedimentar por 3 horas y finalmente se empleó un filtro compuesto por arena, carbón activado granulado, grava fina y grava gruesa, gracias a ello se logró un promedio general de remoción que supera el 90 %.

- Se realizó los cálculos de ingeniería para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, para ello se propone implementar: rejillas de limpieza manual con 45 grados de inclinación y longitud de las barras es de 0,45 m; tanque de aireación con una capacidad de 7,88 m³, longitud de 2,93 m y altura de 1,38 m; sedimentador tipo cilíndrico de base troncocónica con una altura de 2,05 m y un radio de la parte cilíndrica de 1,33 m; lecho de secado de 0,85 m³ de volumen y una profundidad de 0,25 m para un secado rápido de los lodos; finalmente un filtro compuesto de arena, carbón activado granulado, grava fina y gruesa, que cuenta con un volumen de 1,93 m³ y 2,22 m de altura.
- Se validó el rediseño propuesto considerando la caracterización del agua tratada en base a la Tabla 8 (Límites de descarga al sistema de alcantarillado público) y se obtuvieron resultados positivos, logrando tener los siguientes porcentajes de remoción: 98,148 % color, 73,041 aceites y grasas, 95,181 % sulfuros, 99,71 % SST, 91,22 % sólidos totales, 99,69 % turbiedad, 97,91 % DQO y 93,18 % DBO.

RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de tratamiento propuesto, con el fin de evitar la descarga de agua contaminada al alcantarillado.
- Al momento de dosificar los químicos, se debe emplear mascarilla y guantes para evitar problemas de salud en los operarios ya que la dosificación de químicos se lo realizará de manera manual.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA y WPCF, Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17. Madrid-España: Ediciones Días de Santos S.A. 1992. ISBN 978-84-7978-031-9.

ARDILA, Alba, REYES, Juliana, ARRIOLA, Erasmo y HERNÁNDEZ, José, “ Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. [en línea]”, 2012. S.l. [consulta: 2 junio 2023]. ISSN 1900-2351. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistapolitecnica/2012/no15/1.pdf>.

BERMEO, Martha, BONILLA, Stefanie y COLOMA, Tony, Neutralización: aplicado a aguas residuales. Primera. Guayaquil-Ecuador: Grupo Compás. 2017. ISBN 9789942760494. pp.17-46 .

BERMEO, Martha Mirella, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Técnicas convencionales. Segunda. Guayaquil-Ecuador: s.n. 2016. ISBN 978-9942-13-872-9. pp.115 .

BUENAÑO, Jenniffer, Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría San Isidro de la ciudad de Ambato [en línea](Trabajo de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.2019. pp.37-57 . [consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13806/1/96T00571.pdf>.

CHAMORRO, Jessenia, Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre Chimborazo ubicada en la ciudad de Ambato(Trabajo de titulación).ESPOCH. Riobamba-Ecuador.2019. pp.46-61 .

FÚQUENE, Diana Marcela, Optimización del uso del agua en la etapa de pelambre en un proceso que permita la mejor calidad del cuero final y el menor impacto ambiental [en línea](Trabajo de titulación).Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia.2011. pp.27 . [consulta: 15 julio 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/361890660_Optimizacion_del_uso_del_agua_en_la_etapa_de_pelambre_en_un_proceso_que_permita_la_mejor_calidad_del_cuero_final_y_el_menor_impacto_ambiental.

GARCIA, Oscar y RAMÍREZ, Lisette, Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre y marroquinería F.B [en línea](Trabajo de

titulación).Universidad de América. Bogotá-Colombia.2019. pp.79 . [consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7378/1/6132093-2019-1-IQ.pdf>.

GOOGLE EARTH, *Tenería Núñez*. [en línea][blog]. 2023. Disponible en: <https://earth.google.com/web/search/Tenería+Núñez/@-1.31572471,-78.60549483,3476.76814735a,14.14678819d,35y,36.02868159h,44.99337705t,0r/data=CigiJgo kCTsPad5csDNAETYPad5csDPAGQDNlhXhM0hAIZIQIoLIP0rAOgMKATA>.

HACH, MANUAL DE ANALISIS DE AGUA. . Segunda Ed. S.l.: s.n., 2000. pp. 182-582.

HERRERA, Verónica, Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre «Moyolsa» de la ciudad de Ambato(Trabajo de titulación).ESPOCH. Riobamba - Ecuador.2019. pp.64-82 .

IBARRA, Dennise, Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo [en línea](Trabajo de titulación).Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador.2020. pp.37 . [consulta: 6 agosto 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6182/1/T-UTEQ-126.pdf>.

ILBAY, Jhonatan Iván, Análisis de sistemas de tratamiento de aguas residuales en la industria del curtido de pieles [en línea](Trabajo de titulación).Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.2021. pp.39-42 . [consulta: 24 junio 2022]. Disponible en: [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7892/1/7 trabajo de titulación.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7892/1/7%20trabajo%20de%20titulac333n.pdf).

JARAMILLO, Erick, Obtención de pieles curtidas con taninos en la ciudad de Ambato(Trabajo de titulación).Pontificia Universidad Católica del Ecuador. S.l.2021. pp.18-20 .

LOMBEIDA, Lenin Vinicio, Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de curtiembre [en línea](Trabajo de titulación).Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.2017. pp.35-56 . [consulta: 28 junio 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9724/1/T-UCE-0008-Q001-2017.pdf>.

LÓPEZ, Cristina Joana, Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría Cristo del Consuelo de la ciudad de Ambato [en línea](Trabajo de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.2019. pp.32-33 . [consulta: 15 julio

2022]. Disponible en: file:///C:/Users/ASUS 2022/Documents/7. Tesis realizadas/CRISTINA JOANA LÓPEZ SANTANDER.pdf.

MÉNDEZ, Ramón, VIDAL, Gladys, LORBER, Karl y MARQUÉZ, Fernando, Producción limpia en la industria de curtiembre. S.l.: Universidad de Santiago de Compostela. 2017. pp.22-32 .

METCALF y EDDY, Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, vertido y reutilización [*en línea*]. Tercera Ed. S.l.: McGraw-Hill. 1995. ISBN 84-481-1606-2. pp.508-510 . Disponible en: https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, Manual para MUNICIPIOS ECOEFICIENTES [*en línea*]. ENOTRIA S. Lima-Perú: s.n. 2009. pp.20 . Disponible en: www.minam.gob.pe.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador. . Quito-Ecuador: s.n., 2012. pp. 129-132.

MOPOSITA, Luis, Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre Tenería Nuñez de la parroquia Totoras- Tungurahua(Trabajo de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.2021. pp.64-73 .

NORMA RAS, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. . Bogota: s.n., 2000. pp. 51. vol. 2.

NTE INEN 2169, “ Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. Norma Técnica Ecuatoriana”, vol. Primera Ed, 2013. S.l.

OCLES, Jessica, Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros en la curtiembre pieles puma de la ciudad de AMBATO. [*en línea*]. 2019. Riobamba-Ecuador: [consulta: 2 agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/13097/1/96T00550.pdf>.

OPS/CEPIS/05.163, “ Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Publicaciones Estadísticas y Geográficas. SINA [*en línea*]”, 2005. S.l. ISSN

03783774. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/299/1/UNESUM-ECU-CIVIL-2011-23.pdf>.

PINEDO, Rosy, Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el Distrito del Por Venir, Provincia Trujillo, Región La Libertad [en línea](Trabajo de titulación).Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María-Perú.2012. pp.35-37 .Disponible en: www.doccity.com.

SÁNCHEZ, Verónica, Rediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría San Vicente de la ciudad de Ambato(Trabajo de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. S.l.2019. pp.45 .

SARAN, Christina, PURCHASE, Diane, SARATALE, Ganesh Dattatraya, SARATALE, Rijuta Ganesh, ROMANHOLO FERREIRA, Luiz Fernando, BILAL, Muhammad, IQBAL, Hafiz M.N., HUSSAIN, Chaudhery Mustansar, MULLA, Sikandar I. y BHARAGAVA, Ram Naresh, “ Microbial fuel cell: A green eco-friendly agent for tannery wastewater treatment and simultaneous bioelectricity/power generation. Chemosphere”, vol. 312, 2023. S.l. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2022.137072.

SILVA, María José y SALINAS, Diego, “ La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. Revista Científica UISRAEL”, vol. 9, no. 1, 2022. S.l. ISSN 2631-2786. DOI 10.35290/rcui.v9n1.2022.427.

TELWESA, *Sistemas MBR aerobios y anaerobios. [en línea]*[blog]. [consulta: 11 agosto 2022]. 2021. Disponible en: <https://telwesa.com/sistemas-aerobios-y-anaerobios/>.

ANEXOS

ANEXO A: Tabla 8, Libro VI, TULSMA. Límites de descarga al sistema de alcantarillado

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total KjedahI	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

ANEXO B: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Katherine Mishell Landa Landa

Fecha de Análisis: 25/04/2023

Tipo de muestras: Agua Residual del Proceso de Curtido Vegetal, Tenería Núñez

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

Muestra: 1

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Potencial de Hidrógeno	-	4500-B	6 - 9	4,32
Color	Und. Pt/Co	2120-C	-	7 213
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	20,8
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	70,0	70
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ E	1,0	17,6
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	220,0	1 380
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-A	20,0	15
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 600,0	19 960
Temperatura	°C	2550-B	< 40,0	20
Turbiedad	NTU	2130-B	-	1 128
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2550-C	500,0	23 900
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	1 000
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9222-D	2 000	Ausencia

*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANEXO C: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Katherine Mishell Landa Landa

Fecha de Análisis: 31/05/2023

Tipo de muestras: Agua Residual del Proceso de Curtido Vegetal, Tenería Núñez

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

Muestra: 2

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Potencial de Hidrógeno	-	4500-B	6 - 9	4,46
Color	Und. Pt/Co	2120-C	-	6 350
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	11,92
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	70,0	75
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ E	1,0	16,4
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	220,0	840
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-A	20,0	12
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 600,0	16 592
Temperatura	°C	2550-B	< 40,0	18
Turbiedad	NTU	2130-B	-	996
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2550-C	500,0	18 300
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	2 700
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9222-D	2 000	Ausencia

*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF 17 ed

**TULSMA

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANEXO D: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual de curtido vegetal



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Katherine Mishell Landa Landa

Fecha de Análisis: 27/06/2023

Tipo de muestras: Agua Residual del Proceso de Curtido Vegetal, Tenería Núñez

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

Muestra: 3

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Potencial de Hidrógeno	-	4500-B	6 - 9	4,14
Color	Und. Pt/Co	2120-C	-	6 849
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	12,21
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	70,0	72
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ E	1,0	15,8
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	220,0	920
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-A	20,0	13
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 600,0	16 240
Temperatura	°C	2550-B	< 40,0	20,7
Turbiedad	NTU	2130-B	-	988
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2550-C	500,0	16 200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	1 800
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9222-D	2 000	Ausencia

*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANEXO E: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada de curtido vegetal



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Katherine Mishell Landa Landa

Fecha de Análisis: 12/06/2023

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido Vegetal-Tratada, Tenería Núñez

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Potencial de Hidrógeno	-	4500-B	6 - 9	7,42
Color	Und. Pt/Co	2120-C	-	126
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	4,83
Aceites y Grasas	mg/L	5520-B	70,0	19,5
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ E	1,0	0,8
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	220,0	3
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-A	20,0	< 0,1
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 600,0	1 544
Temperatura	°C	2550-B	< 40,0	20
Turbiedad	NTU	2130-B	-	3,13
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	2550-C	500,0	405
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	125
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	9222-D	2 000	Ausencia

*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

ANEXO F: Caracterización fisicoquímica del agua residual de curtido vegetal

A.



B.



C.



D.



NOTAS:

- A. Medición de la DBO
- B. Determinación de sólidos totales
- C. Determinación de aceites y grasas
- D. Determinación de sólidos sedimentables

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Por calificar
- Información

ESPOCH

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
ELABORADO POR:
KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN
LA CIUDAD DE AMBATO**

LÁMINA

ESCALA

FECHA

1

1:1

2023-08-08

ANEXO G: Pruebas de tratabilidad del agua residual de curtido vegetal

E.



F.



G.



H.



NOTAS:

- E. Precipitación de lodos con cal
- F. Prueba de jarras
- G. Sedimentación del agua residual
- H. Agua tratada de curtido vegetal

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Por calificar
- Preliminar
- Por aprobar
- Información

ESPOCH

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
ELABORADO POR:
KATHERINE MISHELL LANDA LANDA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN
LA CIUDAD DE AMBATO**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	2023-08-08

ANEXO H: Caracterización fisicoquímica del agua tratada de curtido vegetal

I.



J.

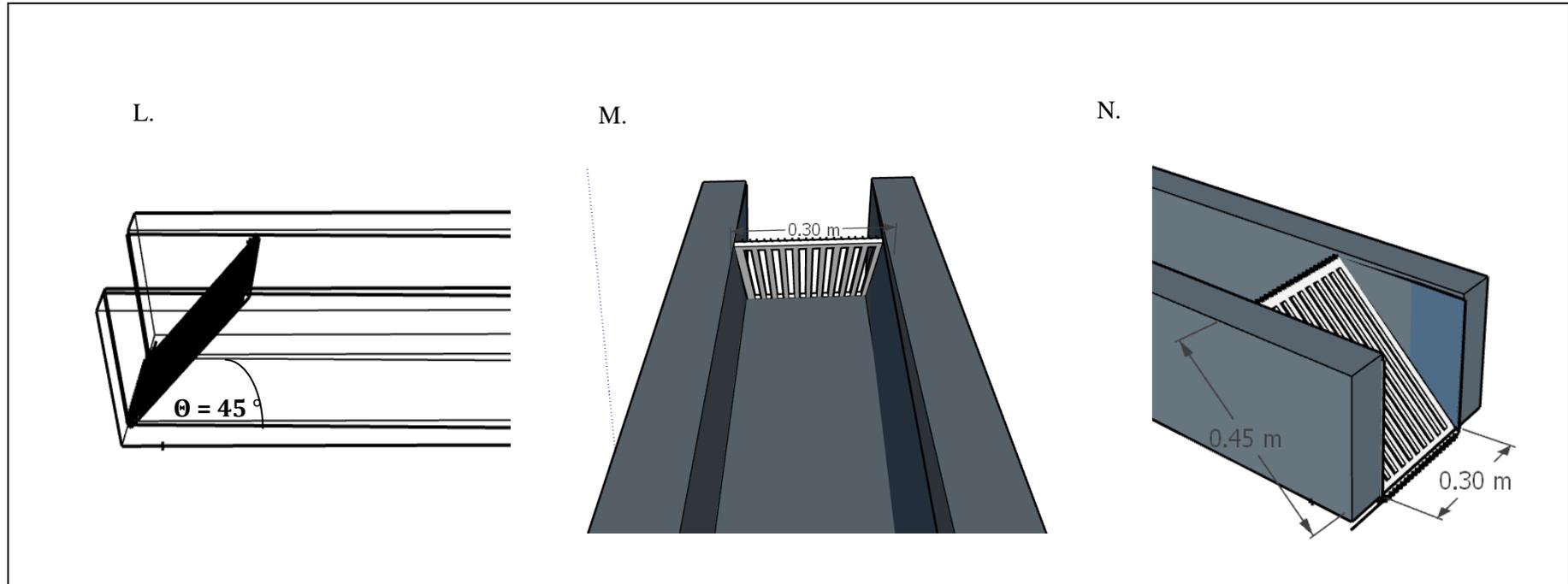


K.



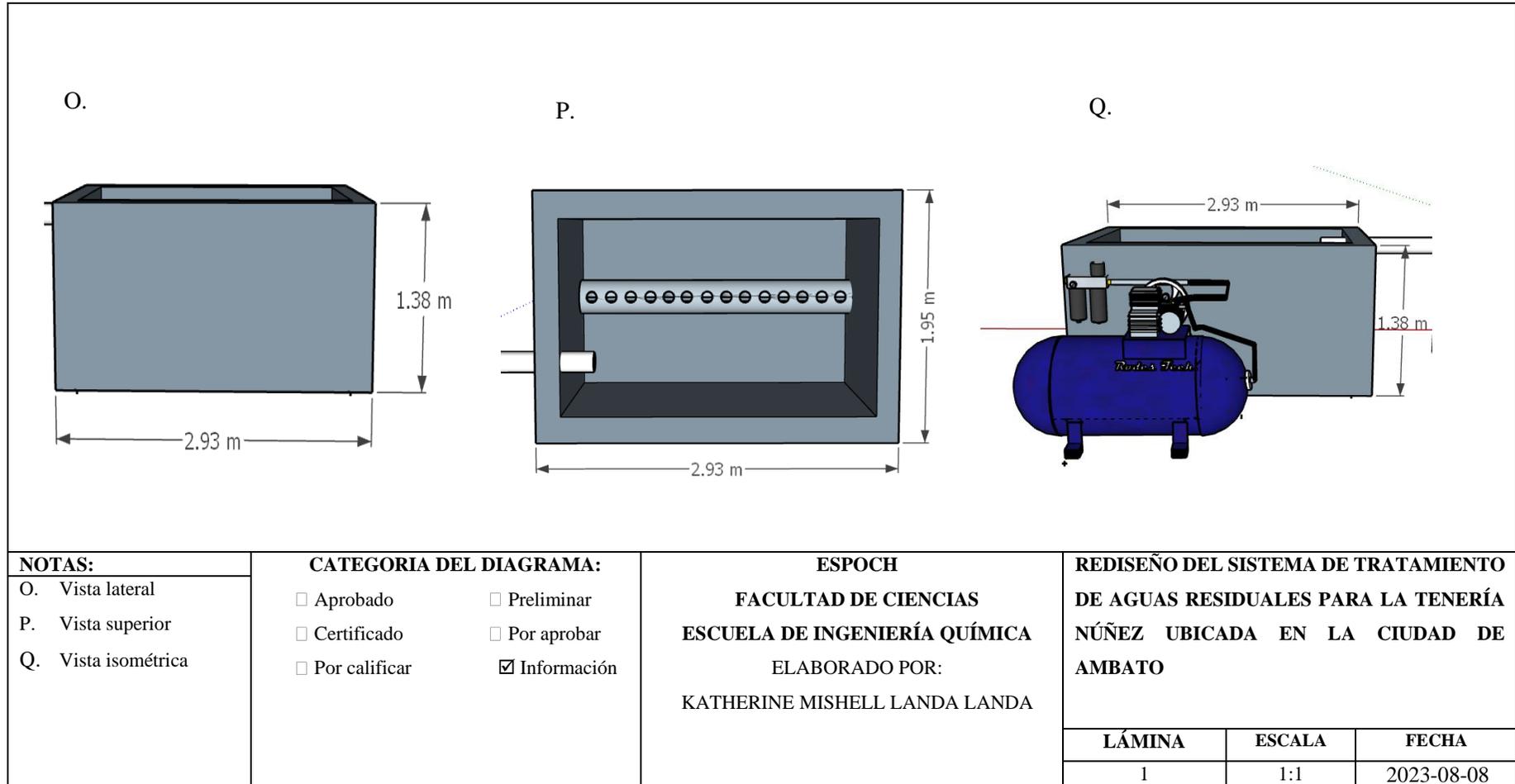
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESPOCH	REDISEÑO DEL SISTEMA DE		
I. Determinación de aceites y grasas	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
J. Determinación del color	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar	PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN		
K. Determinación de sólidos totales	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input checked="" type="checkbox"/> Información	LA CIUDAD DE AMBATO		
		FACULTAD DE CIENCIAS			
		ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
		ELABORADO POR:			
		KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023-08-08

ANEXO I: Sistema de rejillas



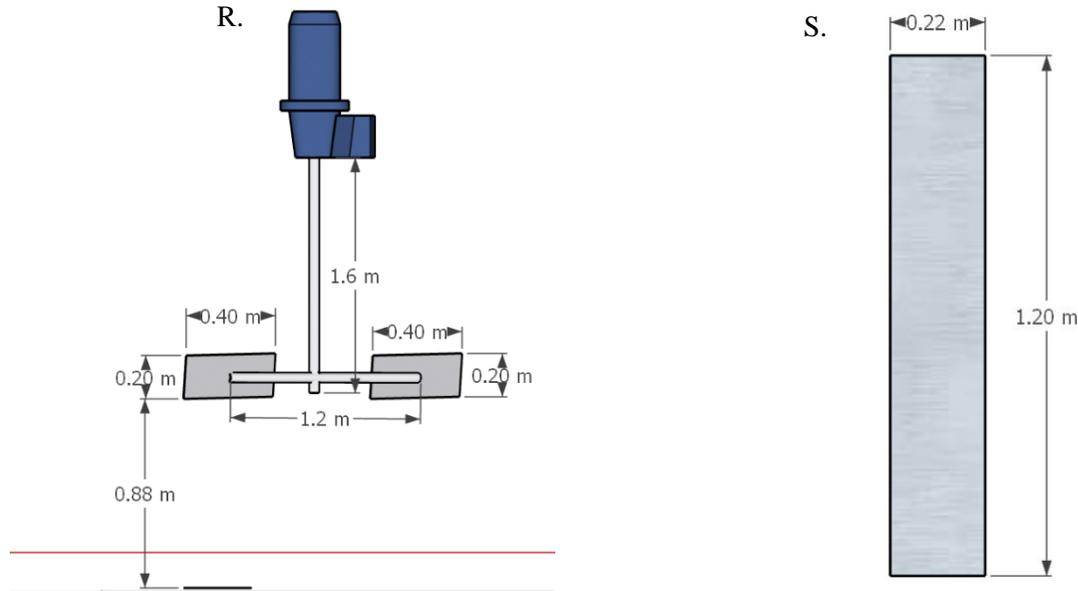
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESPOCH	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO		
L. Vista lateral	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA		
M. Vista superior	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar			
N. Vista isométrica	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input checked="" type="checkbox"/> Información			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023-08-08

ANEXO J: Tanque de aireación



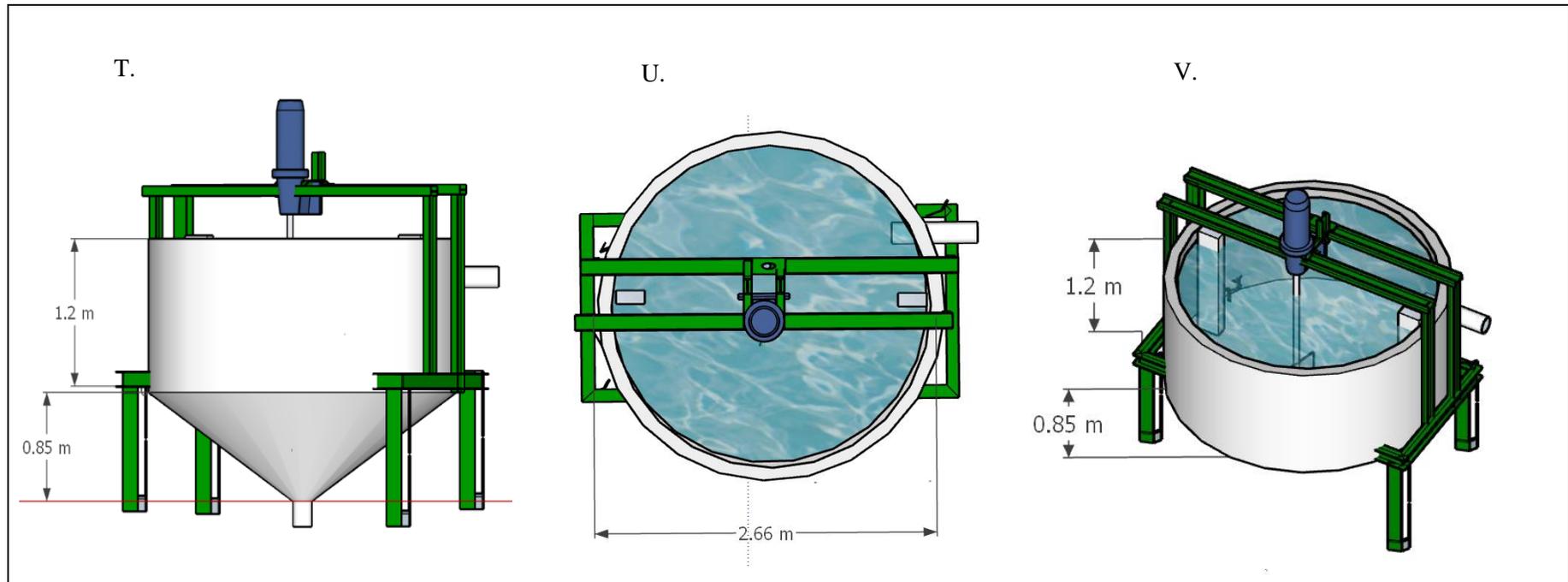
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESPOCH	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO		
O. Vista lateral	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA		
P. Vista superior	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE		
Q. Vista isométrica	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información	ELABORADO POR:	AMBATO		
		KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023-08-08

ANEXO K: Agitador de palas planas y deflector



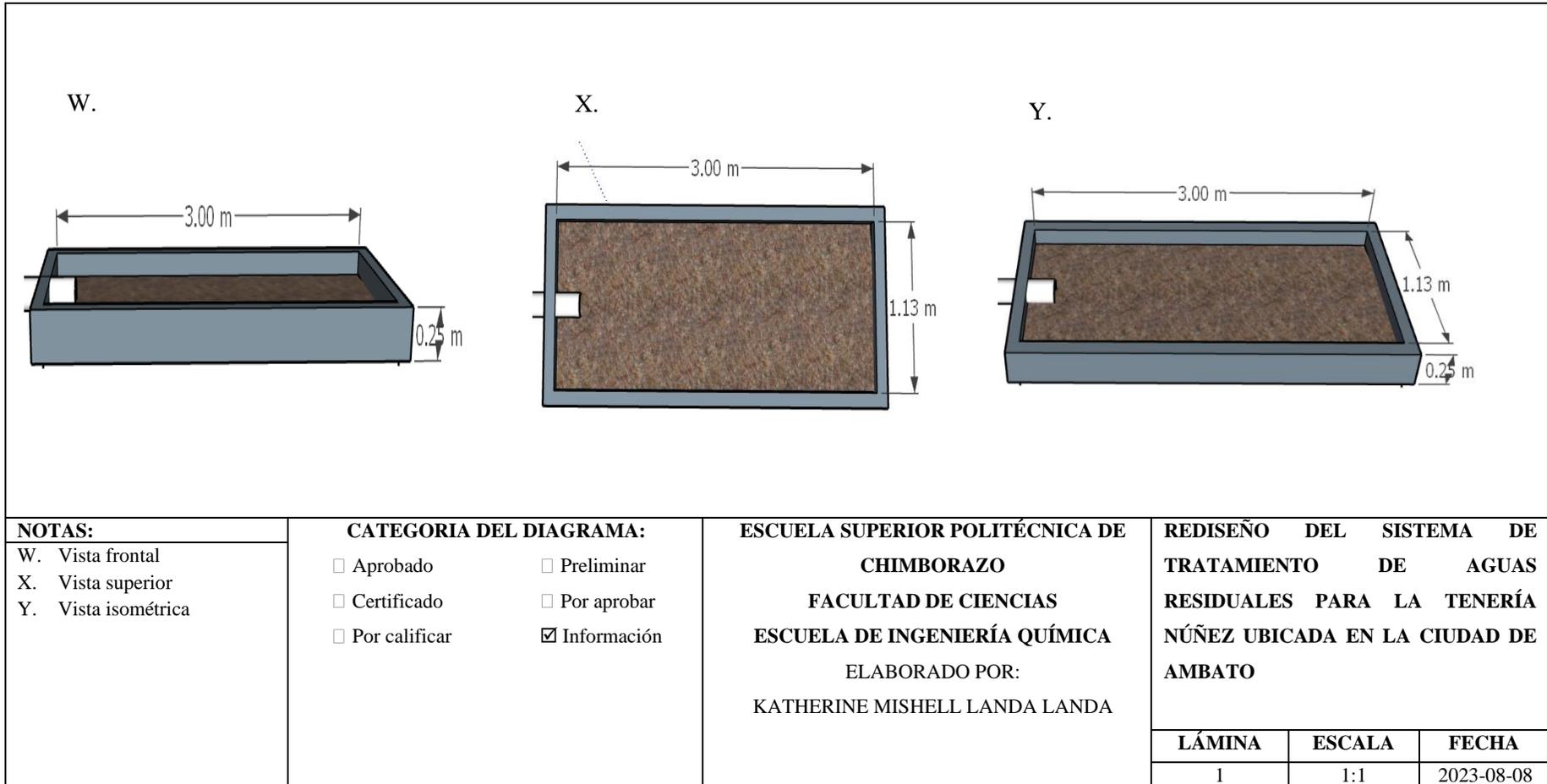
NOTAS: R. Agitador de palas planas S. Deflector	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023-08-08

ANEXO L: Tanque de sedimentación



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESPOCH	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO		
T. Vista frontal	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA		
U. Vista superior	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE		
V. Vista isométrica	<input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información	ELABORADO POR:	AMBATO		
		KATHERINE MISHELL LANDA LANDA			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023-08-08

ANEXO M: Lecho de secado



NOTAS:

- W. Vista frontal
- X. Vista superior
- Y. Vista isométrica

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

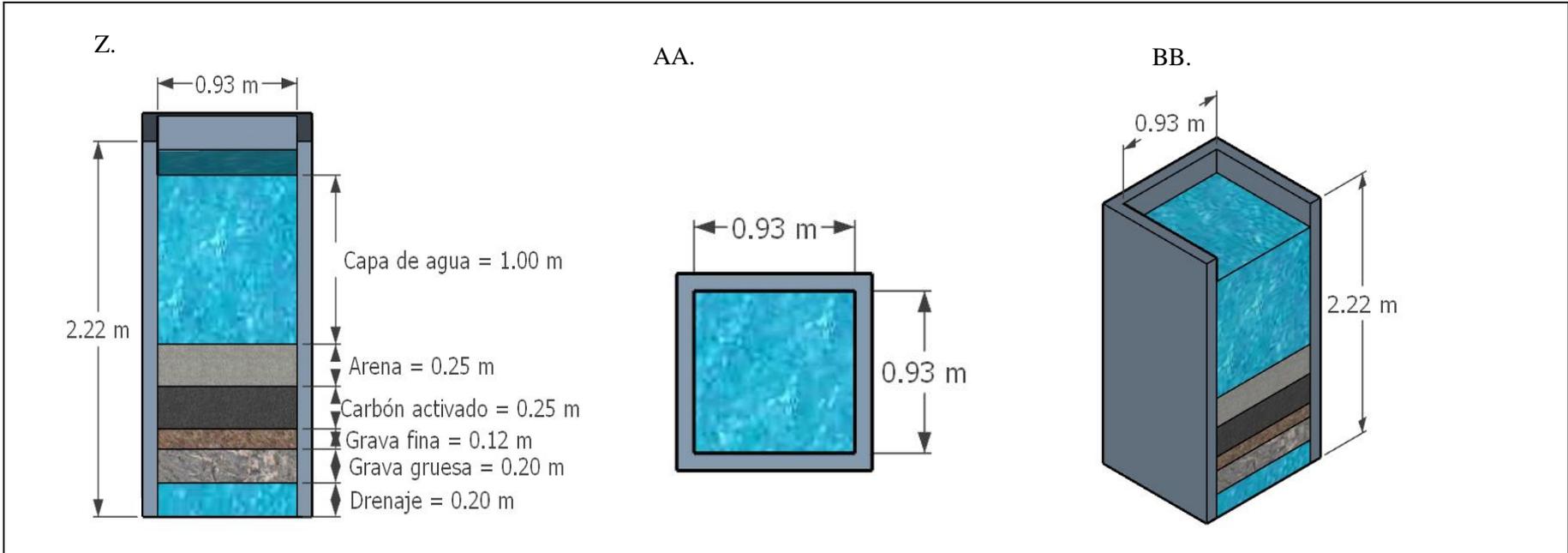
- Aprobado
- Certificado
- Por calificar
- Preliminar
- Por aprobar
- Información

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ELABORADO POR:
KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA TENERÍA
NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE
AMBATO**

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	2023-08-08

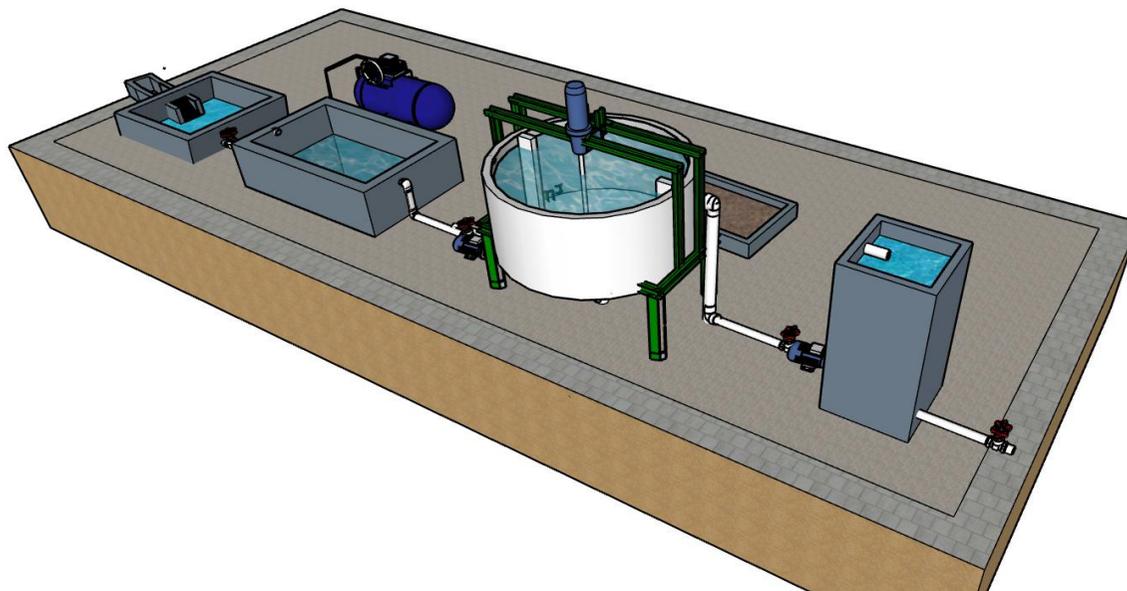
ANEXO N: Tanque de filtración



<p>NOTAS: Z. Vista frontal AA. Vista superior BB. Vista isométrica</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información </p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: KATHERINE MISHHELL LANDA LANDA</p>	<p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO</p>		
			<p>LÁMINA</p> <p>1</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1</p>	<p>FECHA</p> <p>2023-08-08</p>

ANEXO O: PTAR

CC.



<p>NOTAS: CC. Vista isométrica de la PTAR</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar <input checked="" type="checkbox"/> Información</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>ELABORADO POR: KATHERINE MISHELL LANDA LANDA</p>	<p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA TENERÍA NÚÑEZ UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2023-08-08</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	2023-08-08
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:1	2023-08-08							



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22/01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Katherine Mishell Landa Landa
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



2085-DBRA-UPT-2023