



“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL.**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA PIEDRA PÓMEZ COMO MATERIAL BIODEGRADABLE
Y FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DE LA CURTIDURÍA ARTESANAL PALAHUA,
UBICADO EN LA PARROQUIA TOTORAS, DEL CANTÓN AMBATO Y DE
LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.**

AUTOR:

CRISTIAN VINICIO SIZA ALTASHIG.

TUTOR:

ING. MG. DILON MOYA.

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.

Yo, Ing. Mg. Dilon Moya, certifico que el presente proyecto de investigación realizado por Cristian Vinicio Siza Altashig, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi dirección, el cual es un trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, siendo elaborado de manera personal y ha sido concluido bajo el título, **“ANÁLISIS DE LA PIEDRA PÓMEZ COMO MATERIAL BIODEGRADABLE Y FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA CURTIDURÍA ARTESANAL PALAHUA, UBICADO EN LA PARROQUIA TOTORAS, DEL CANTÓN AMBATO Y DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ing. Mg. Dilon Moya

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.

Indico que los criterios emitidos en el presente trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, bajo el título “**ANÁLISIS DE LA PIEDRA PÓMEZ COMO MATERIAL BIODEGRADABLE Y FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA CURTIDURÍA ARTESANAL PALAHUA, UBICADO EN LA PARROQUIA TOTORAS, DEL CANTÓN AMBATO Y DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**”; así como también los contenidos presentados, las ideas, análisis, síntesis son de exclusiva autoría, a excepción de las citas bibliográficas.

Ambato, febrero del 2018.

CRISTIAN VINICIO SIZA ALTASHIG

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR.

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una garantía económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Cristian Vinicio Siza Altashig

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.

Los miembros del tribunal examinador aprueban el Trabajo Experimental, bajo el título **“ANÁLISIS DE LA PIEDRA PÓMEZ COMO MATERIAL BIODEGRADABLE Y FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA CURTIDURÍA ARTESANAL PALAHUA, UBICADO EN LA PARROQUIA TOTORAS, DEL CANTÓN AMBATO Y DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, realizado por Cristian Vinicio Siza Altashig, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, febrero del 2018.

Para constancia firman:

Ing. Mg. Jorge Guevara

DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Mg. Geovanny Paredes

DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA.

Dedico este logro personal, primero a Dios por haberme bendecido en todos mis años de estudio y haber guiado mi vida para cumplir una meta más en mi formación académica; en segundo lugar deseo dedicarle a mi padre, madre, a toda mi familia y en especial a mis abuelitos por haberme apoyado incondicionalmente en toda mi formación profesional, por haber ayudado con sus palabra de aliento y consejos en los momentos difíciles del camino hacia este triunfo personal. Y por último, a todos mis amigos en general, ya que me han apoyado con su respeto y cariño en todos los proyectos que hemos emprendido.

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar deseo agradecer a Dios por haberme bendecido con su infinita sabiduría en toda mi vida, en todos mis logros y también en mis fracasos; porque esos fracasos me han enseñado grandes lecciones. En segundo lugar deseo brindarle mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, por haberme permitido formar profesionalmente en su alma mater, tanto en las aulas como en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica; también le brindo todo mi agradecimiento y respeto al Ing. Mg. Dilon Moya por transmitir todos sus conocimientos profesionales sin reservarse nada para sí mismo; conocimientos transmitidos a través de la enseñanza a todos los que nos hemos formado en la Carrera de Ingeniería Civil, y en especial por haberme guiado junto con el Departamento de Hidráulica en la investigación del presente trabajo experimental; a la vez es oportuno agradecer a todo el grupo de ingenieros que forman parte del Departamento de Hidráulica, ya que han tenido la iniciativa y preocupación de formar profesionales preparados en todos los campos de la ingeniería. Y finalmente deseo agradecer a la Ing. Ph.D. Diana Coello por haberme transmitido sus conocimientos investigativos para la estructuración del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.	iii
DERECHOS DE AUTOR.	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.	v
DEDICATORIA.	ii
AGRADECIMIENTO.	iii
RESUMEN EJECUTIVO.	1
ABSTRAC.	3
CAPÍTULO I	5
ANTECEDENTES	5
1.4. Tema de Investigación.....	5
1.5. Antecedentes investigativos.	5
1.6. Justificación.....	12
1.7. Objetivos.	13
1.7.1. Objetivo General.	13
1.7.2. Objetivos específicos.	13
CAPÍTULO II	15
FUNDAMENTACIÓN	15
2.1. Fundamentación teórica.	15
2.1.1. Aguas residuales.....	15
2.1.2. Proceso de filtración.....	21
2.1.3. Piedra Pómez.....	22
2.1.4. Parámetros de calidad del agua.	24
2.1.5. Descripción general de la Industria Curtiembre.....	25
2.2. Hipótesis.....	30
2.2.1. Hipótesis nula.....	30
2.2.2. Hipótesis alternativa.....	30
2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis.....	30

2.3.1. Variable Independiente.	30
2.3.2. Variable Dependiente.....	30
CAPÍTULO III	31
METODOLOGÍA	31
3.1. Nivel o tipo de investigación.....	31
3.1.1. Investigación exploratoria.....	31
3.1.2. Investigación descriptiva.....	31
3.1.3. Investigación de laboratorio.....	31
3.1.4. Investigación experimental.	32
3.2. Población y muestra.	32
3.2.1. Población.....	32
3.2.2. Muestra.....	33
3.3. Operacionalización de variables.....	35
3.3.1. Variable Independiente.	35
3.3.2. Variable Dependiente.....	36
3.4. Plan de recolección de información.	37
3.5. Plan de procesamiento y análisis.....	37
3.5.1. Diseño del bio-filtro.	37
3.5.2. Preparación del material filtrante (Piedra Pómez).	39
3.5.3. Construcción del filtro prototipo a escala laboratorio.....	44
3.5.4. Partes de bio-filtro y materiales.	45
3.5.5. Costo del Bio-filtro prototipo de Piedra Pómez.....	46
3.5.6. Proceso de funcionamiento del bio-filtro.....	46
3.5.7. Caracterización del lugar de estudio (Curtiduría Artesanal Palahua). .	47
CAPÍTULO VI	51
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1. Recolección de datos.	51
4.1.1. Determinación y cálculo de caudales de consumo de la curtiduría para procesar el cuero.	51
4.1.2. Cálculo del caudal máximo de consumo de la Curtiduría Artesanal Palahua por aparatos sanitarios.....	52
4.1.3. Tiempo de retención hidráulica (T.R.H.).....	53
4.1.4. Numero de muestras tomadas.	53

4.1.5.	Límites de descarga de las aguas residuales de curtiembre al sistema de alcantarillado público.....	54
4.2.	Análisis de resultados.....	55
4.2.1.	Análisis de los resultados obtenidos de las muestras tomadas.....	55
4.2.2.	Análisis de los resultados por parámetros.....	58
4.2.3.	Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	58
4.2.4.	Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DBO ₅).	60
4.2.5.	Resultados del Cromo Hexavalente (Cr ⁶⁺).....	61
4.2.6.	Resultados del Potencial Hidrogeno (pH).....	63
4.2.7.	Análisis de la Eficiencia por parámetro del Bio-filtro.	65
4.2.8.	Discusión y Resultados.	68
4.3.	Verificación de la hipótesis.	70
CAPÍTULO V.....		71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		71
5.1.	Conclusiones.	71
5.2.	Recomendaciones.....	73
MATERIAL DE REFERENCIA.....		74
BIBLIOGRAFÍA.....		74
ANEXOS.....		77
	Planimetría de la Curtiduría Artesanal Palahua.....	77
	Informes de los Análisis de Laboratorio.....	78

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales industriales.	20
Tabla 2. Composición Química de la Piedra Pómez.	23
Tabla 3. Volumen Real de Agua Tratada.	33
Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente.	35
Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente.	36
Tabla 6. Plan de recolección de información para el trabajo experimental.	37
Tabla 7. Granulometría de la Piedra Pómez en su estado natural.	41
Tabla 8. Calculo de la densidad de cada fracción de la Piedra Pómez.	43
Tabla 9. Calculo de los pesos de Piedra Pómez requeridos por cada fracción.	44
Tabla 10. Costo de elaboración del Bio-filtro de Piedra Pómez.	46
Tabla 11. Calculo de la altura promedio de agua consumida.	51
Tabla 12. Caudales maximos de unidades sanitarias.	52
Tabla 13. Cronograma de las muestras tomadas para los análisis.	54
Tabla 14. Límites de descarga al alcantarillado público.	54
Tabla 15. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el primer día de filtrado.	55
Tabla 16. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el segundo día de filtrado.	56
Tabla 17. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el tercer día de filtrado.	56
Tabla 18. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el cuarto día de filtrado.	57
Tabla 19. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el quinto día de filtrado.	57
Tabla 20. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el sexto día de filtrado.	58
Tabla 21. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del DQO.	59
Tabla 22. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del DBO ₅	60
Tabla 23. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del Cr ⁶⁺	62
Tabla 24. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del pH.	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales... 19	
Gráfico 2. Diagrama de flujo típico para la producción de cuero a partir de piel de vacuno. 28	
Gráfico 3. Diagrama de flujo típico para la producción de cuero acabado..... 29	
Gráfico 4. Concentración del DQO Sin tratar y Tratada..... 59	
Gráfico 5. Concentración del DBO ₅ Sin tratar y Tratada..... 61	
Gráfico 6. Concentración del Cr ⁶⁺ Sin tratar y Tratada. 62	
Gráfico 7. Concentración del pH Sin tratar y Tratada. 64	
Gráfico 8. Eficiencia del bio-filtro en relación al DQO..... 66	
Gráfico 9. Eficiencia del bio-filtro en relación al DBO ₅ 66	
Gráfico 10. Eficiencia del bio-filtro en relación al Cr ⁶⁺ 67	
Gráfico 11. Eficiencia del bio-filtro en relación al pH..... 68	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Granulometría empleada de piedra pómez.	39
Ilustración 2. Bandeja metálica sellada herméticamente	39
Ilustración 3. Flauta y bandeja agujereada de distribución.	39
Ilustración 4. Ubicación de la mina de piedra pómez Condorahua.	40
Ilustración 5. Armado de la estructura que soportara el filtro.....	45
Ilustración 6. Montaje del filtro sobre la estructura.	45
Ilustración 7. Ubicación de la Curtiduría Artesanal Palahua.	48

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1. Levantamiento planimétrico del Lugar de Estudio.	77
Anexo 2. Análisis de Laboratorio de las muestras del primer día de filtrado.....	78
Anexo 3. Análisis de Laboratorio de las muestras del segundo día de filtrado.	79
Anexo 4. Análisis de Laboratorio de las muestras del tercer día de filtrado.	80
Anexo 5. Análisis de Laboratorio de las muestras del cuarto día de filtrado.....	81
Anexo 6. Análisis de Laboratorio de las muestras del quinto día de filtrado.	82
Anexo 7. Análisis de Laboratorio de las muestras del sexto día de filtrado.	83

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: Análisis de la Piedra Pómez como material biodegradable y filtrante en el tratamiento de las Aguas Residuales provenientes de la Curtiduría Artesanal Palahua, ubicado en la Parroquia Totoras, del Cantón Ambato y de la Provincia de Tungurahua.

Autor: Cristian Vinicio Siza Altashig.

Tutor: Ing. Mg. Dilon Moya.

RESUMEN EJECUTIVO.

Con el objeto de analizar el comportamiento de un material biodegradable en un bio - filtro prototipo a escala laboratorio, se trató las aguas residuales producidas en una curtiduría con piedra pómez, este material se usó como medio filtrante, a fin de reducir los niveles de contaminación de los efluentes generados en este tipo de industrias; además de aprovechar las características tanto físicas como químicas de este material poroso; y la afinidad para absorber contaminantes disueltos en aguas residuales. Una ventaja muy importante del material pomáceo es que se lo puede obtener fácilmente y a bajo costo; y en caso de requerir una recuperación de los compuestos químicos absorbidos por este material, se lo puede realizar sin mayor problema.

Los parámetros de calidad del agua como son el DQO, DBO₅, Cr⁶⁺ y pH, mismos que fueron monitoreados por 15 días; a fin de determinar los grados de concentración de contaminantes y conocer la eficiencia de la piedra pómez para tratar aguas residuales de curtidurías; de los resultados obtenidos se encontró que los niveles de contaminación de los residuos líquidos de una curtiduría son muy altos, además que se identificó que el mayor contaminante del proceso de tratamiento del cuero es el cromo hexavalente, ya que se considera un compuesto toxico, cancerígeno y muta génico; por lo que necesita de especial cuidado antes de ser arrojado al medio ambiente.

Los resultados arrojados por el estudio, demuestran que la piedra pómez ayuda a reducir notablemente las concentraciones de contaminantes del DQO y DBO₅, pero con los resultados obtenidos se verifica que las aguas tratadas con la piedra pómez no alcanza los límites máximos permisibles por la normativa ambiental en estos dos parámetros. Pero, por otro lado, los resultados indican que la piedra pómez es un material biodegradable muy prometedor para descontaminar las aguas residuales que contengan Cr⁶⁺; ya que se demostró que este material puede reducir el contaminante antes mencionado hasta un 80,77% de la eficiencia, como valor más alto y hasta un 25,49% como valor más bajo. A pesar de que los resultados obtenidos no son los deseados, se demostró que la piedra pómez puede tratar eficientemente al Cr⁶⁺; y para futuros estudios se puede emplear este material y hacer una combinación de biomateriales para obtener resultados más efectivos.

Palabras claves: Análisis, piedra pómez, prototipo, material biodegradable, parámetros de calidad del agua y eficiencia.

ABSTRAC.

TOPIC: Analysis of Pumice Stone as a biodegradable and filtering material in the treatment of Wastewater from the Palahua Artisanal Tannery, located in the Totoras Parish, the city of Ambato and the Province of Tungurahua

In order to analyze the behavior of a biodegradable material in a laboratory scale prototype bio-filter, wastewater produced in a tannery was treated with pumice, this material was used as a filtering medium, in order to reduce pollution levels of the effluents generated in this type of industries; besides taking advantage of the physical and chemical characteristics of this porous material; and the affinity to absorb dissolved pollutants in wastewater. A very important advantage of the pumice material is that it can be obtained easily and at low cost; and in case of requiring a recovery of the chemical compounds absorbed by this material, it can be done without major problem.

Water quality parameters such as COD, BOD₅, Cr⁶⁺ and pH, which were monitored for 15 days; in order to determine the degrees of concentration of contaminants and to know the efficiency of the pumice stone to treat wastewater from tanneries; From the results obtained, it was found that the levels of contamination of the liquid residues of a tannery are very high, besides it was identified that the biggest contaminant of the leather treatment process is hexavalent chromium, since it is considered a toxic, carcinogenic compound and gene mutant; so it needs special care before being thrown into the environment.

The results of the study show that the pumice stone helps to reduce significantly the concentrations of pollutants of COD and BOD₅, but with the results obtained it is verified that the water treated with the pumice stone does not reach the maximum limits allowed by environmental regulations in these two parameters. But, on the other hand, the results indicate that the pumice stone is a very promising biodegradable material to decontaminate wastewater containing Cr⁶⁺; since, it was demonstrated that this material can reduce the aforementioned contaminated up to 80.77% to the efficiency, as the highest value and up to 25.49% as the lowest value. Although the

results obtained were not expected, it was shown that the pumice stone can efficiently treat Cr^{6+} ; and for future studies you can use this material and make a combination of biomaterials to obtain more effective results.

KEY WORDS: Analysis, pumice stone, prototype, biodegradable material, parameters of water quality and efficiency.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.4. Tema de Investigación.

Análisis de la Piedra Pómez como material biodegradable y filtrante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la Curtiduría Artesanal Palahua, ubicado en la Parroquia Totoras, del Cantón Ambato y de la Provincia de Tungurahua.

1.5. Antecedentes investigativos.

Las industrias de las curtiembres se han considerado como un sector empresarial que contamina agresivamente el medio ambiente; debido a que, para el proceso de tratamiento de las pieles de animales para convertirlos en cuero, se emplean productos químicos altamente tóxicos; y aun con la utilización de productos químicos con dosificaciones específicas para optimizar el uso de los compuestos curtientes en el proceso, o también con la sustitución de compuestos químicos con otros de concentraciones bajas de reactivos o sustitución con otros productos menos contaminantes; en el proceso del curtido, al mezclarse diferentes compuestos originan reacciones químicas que producen sustancias tóxicas, como es el caso del curtido de pieles; ya que para el proceso se emplea cromo trivalente, pero al mezclarse y oxidarse con ácido fórmico y sulfúrico origina cromo hexavalente, mismo que es un compuesto inestable y contaminante para los medios acuíferos, además de que es un compuesto cancerígeno y múgateno comprobado en humanos [1]. Para tener una idea del nivel de contaminación que produce esta industria, se la puede comparar con la contaminación que produce otras industrias como son la minera y la petrolera; ya que la mayoría de los procesos para tratar el cuero se realiza en medio acuoso [2]; y todos los residuos sólidos y líquidos no reciben un adecuado tratamiento que garantice la descontaminación de sus desechos, y lo que es más perjudicial para el medio ambiente es que todos los residuos líquidos son arrojados a los alcantarillados públicos en unos casos y en otros las aguas residuales son arrojadas a cauces naturales de agua con un tratamiento de los residuos líquidos paupérrimos y deficientes.

En el estudio llevado a cabo en el Instituto de Estudios Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para determinar los niveles de contaminación de cada

proceso en el tratamiento del cuero en curtiembres; se determinó que para el tratamiento de las pieles se utiliza un estimado de 50 a 100 litros de agua por cada Kg de piel salada; además se destaca que en el proceso de ribera se produce la mayor carga contaminante, es decir en este proceso se produce el 80% de la carga contaminante total expresada en términos de DBO_5 , esto se debe a que en este proceso se separan las proteínas y los productos de degradación a más del 60% de los sólidos suspendidos. También se considera que la utilización de ácido sulfúrico en el proceso de pelambre y el cromo en el proceso de curtido, le dan una toxicidad elevada a las aguas de descarga. De acuerdo al estudio mencionado, la reducción del cromo VI a cromo III ocurre espontáneamente con un pH neutro y de forma rápida en presencia de desechos orgánicos [2]; es decir, se pueden obtener mejores resultados si se realiza un tratamiento de las aguas residuales con compuestos orgánicos biodegradables, pero en la presente investigación se analizara y experimentara utilizando piedra pómez como material filtrante para tratar las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal, debido a que por las características propias de la estructura porosa de la piedra pómez, puede ayudar a retener los contaminantes dentro de su estructura porosa hasta la saturación.

Judith Sánchez de Fuentes y otros [3] en su estudio de la nocividad del cromo en las aguas de la industria curtiembre y las diferentes alternativas para removerlo, indican que, el problema que genera la utilización de sales de cromo (Cr) en el proceso de curtido, es porque gran parte de este compuesto químico no se fija al cuero; y se desecha en los fluidos líquidos del proceso y los lodos de depuración, con lo cual dificulta la reutilización de los materiales residuales.

Se sabe que en los residuos líquidos del proceso de curtido, se puede encontrar el Cr como cromo hexavalente (Cr^{6+}), mismo que puede tener diferentes formas; como el ion cromato (CrO_4^{-2}), el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) o cromo trivalente (Cr^{3+}), destacando que el último es más estable en comparación al resto de formas y 1.000 veces menos contaminante que el Cr^{6+} . En las cuencas hidrológicas el Cr^{6+} esta en forma soluble y es muy estable como para ser acarreada por el agua, es decir es un elemento no esencial para la estructura molecular del agua y altamente toxico en concentraciones bajas; motivo por el cual requiere de un tratamiento especial, cuando se encuentra disuelto en las aguas residuales de curtiembres; para ello el estudio sugiere diferentes formas

de tratar estas aguas, todo dependerá de la capacidad económica y el nivel de conciencia ambiental de la industria para implementar algún mecanismo de depuración del cromo hexavalente (Cr^{6+}) de sus aguas residuales [4], [5], a fin de garantizar que el daño a la naturaleza sea mínimo y con esto evitar problemas legales con los diferentes organismos de control ambiental.

De acuerdo con P. Rana y otros [6], la remoción del Cr por intercambio iónico consiste en el intercambio de iones a través de la utilización de una resina básica (Sustancia artificial) en una solución de contacto; su modo de actuación consiste en concentrar ciertos reactivos para su posterior remoción y reutilización en otros medios, el proceso consiste en oxidar el Cr^{6+} a Cr^{3+} para luego fijar una columna de intercambio iónico y una vez separados las moléculas poder removerlas fácilmente; otra sustancia artificial que se puede emplear para el mismo propósito es la alúmina activada, misma que ayuda a retener iones orgánicos de efluentes contaminados, su comportamiento puede ser como un intercambiador catiónico en un medio básico y aniónico en un medio ácido.

Otro método relevante es utilizando biomateriales, ya que con este método, se aprovecha la facilidad y fuerte afinidad de los componentes celulares para absorber los iones metálicos de las aguas contaminadas [5]; con este procedimiento se presenta una gran ventaja, ya que no se requiere de un pretratamiento previo con nutrientes para mantener su actividad; también se puede emplear biomasas inmovilizadas para remover y recuperar los compuestos metálicos; otra ventaja que tienen estos métodos es que a más de recuperar los metales pesados de las aguas contaminadas, también se puede dar otros usos a la biomasa desgastada y el agua tratada, se puede reinsertar a un cauce natural de agua.

También se ha experimentado implementando biotecnologías; y estas consisten en el secuestro específico del Cr por inducción, a través de hongos acidófilos o bacterias específicas de cultivo controlado, donde luego de la absorción del compuesto contaminante por medio de estos organismos se procede a la remoción, una vez constatado la separación; los hongos y bacterias usadas para este tratamiento, deben tener la capacidad de desarrollarse en medios ácidos y en presencia de Cr [7], [8]; con los estudios preliminares que se han venido desarrollando, hay grandes probabilidades

de obtener resultados favorables para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de curtiembres.

La electrocoagulación también es un método electroquímico efectivo para la remoción de varios contaminantes, como es el caso de los metales pesados en las aguas residuales industriales; el tratamiento consiste en someter el agua residual a diferentes fenómenos químicos y físicos; y para este fin, se emplea electrodos para suministrar iones al agua contaminada que se va a procesar; en este tratamiento el coagulante es cultivado in situ, debido a una reacción de oxidación del ánodo [5]; una vez que las reacciones de los iones con carga opuesta formen flóculos de hidróxidos metálicos, estos pueden ser removidos del medio acuoso; en síntesis, por medio de la oxidación de electrodo, se forman coágulos y las etapas para llevar a cabo este proceso son: primero la desestabilización del contaminante, luego la formación de partículas en suspensión para dar paso al rompimiento de las emulsiones, continuando con la formación de flóculos adicionando partículas desestabilizadas y finalmente se puede hacer la remoción del material contaminante por medio de flotación y sedimentación [5].

Tomando de referencia los estudios antes descritos; en el transcurso de los últimos años se ha venido desarrollando, investigando y perfeccionando cada uno de los métodos para la depuración de las aguas residuales de curtiembres; y aun que, en algunos métodos se ha profundizado más en la investigación con relación al resto de procedimientos, hay que destacar que esas investigaciones han abierto camino para que se siga formando una base de datos de información científica para experimentar con nuevos materiales, relacionar sobre el comportamiento que puede tener la utilización de un determinado material para tratar diferentes aguas contaminadas, analizar el costo beneficio que podría generar la implementación de un proceso de depuración de aguas residuales en los procesos de una industria, relacionar un proceso con otro para obtener mejores resultados, fusionar dos o más métodos con el fin de garantizar que las aguas contaminadas sean devueltas a los cauces naturales con la menor cantidad de tóxicos y cargas contaminantes, identificar que materiales, organismos o bacterias son aptos para descontaminar las aguas residuales con reactivos tóxicos, etc. Con los antecedentes expuestos, los centros tecnológicos e investigativos, se han visto con la necesidad de profundizar más en sus investigaciones para conocer

a ciencia cierta cuales son los medios y mecanismos idóneos para depurar las aguas contaminadas industriales; ya que estas han repercutido en la alteración de la capacidad de autodepuración y recuperación natural de los ecosistemas donde son vertidas las aguas contaminadas.

Dada la problemática a escala global, se ha investigado y experimentado con una biotecnología novedosa para tratar las aguas residuales que genera la industria del cuero, tal es el caso del estudio de biorremediación del cromo VI que se desarrolló para tratar las aguas residuales provenientes de curtiembres, a través de la utilización de bacterias *pseudomonas* sp; mismas que se cultivan a partir de una muestra pura de bacterias, para después ser insertado en un biorreactor de tanque agitado con un medio aséptico y con condiciones controladas y monitoreadas tanto en la temperatura como en las concentraciones de cromo y pH. En el estudio mencionado se obtuvieron datos poco significativos, ya que la reducción fue del 13,51% del cromo VI inicial, en el transcurso de 140 horas; pero en relación al cromo total los datos fueron relevantes, ya que se obtuvo una reducción de 2460 ppm a 360 ppm en tan solo 24 horas [7]. Con los datos obtenidos se demostró que; si bien es cierto, con este método se puede reducir considerablemente el cromo total, pero al enfocarnos en el cromo VI, mismo que es el residuo de mayor grado de contaminación del proceso de tratamiento del cuero, su reducción no alcanza a satisfacer los valores límite de la normativa, de acuerdo con el estudio planteado.

También se han venido desarrollando un método en particular, llamado sistema de lodos activados, mismo que es un tratamiento secundario y consiste en la eliminación de los residuos orgánicos biodegradables en un medio aeróbico; la ventaja de emplear este método en un proceso de descontaminación es que puede tratar volúmenes considerables de residuos en pequeños espacios y con tiempos de residencia hidráulico menores al resto de métodos similares. Para realizar este estudio se procedió a tomar el residuo industrial líquido global del proceso de curtiembre, después de haber sido sometido al residuo a un pretratamiento de filtración y equalización en fosas de decantación; el objetivo de este proceso es determinar el tiempo que tarda un determinado grupo de microorganismos en degradar un residuo orgánico específico y con esta información poder dimensionar un reactor biológico donde se trataran las aguas contaminadas. Con la investigación realizada se determinó que el sistema de

lodos activados es un método adecuado para tratar materia orgánica presente en el proceso de curtiembre, ya que se puede remover entre un 80% de DQO y por encima del 90% en DBO₅; además de identificar que disminuyeron las concentraciones de cromo del efluente al compararlos con el afluente, este efecto se produce debido a las características propias de los microorganismos presentes en los lodos, ya que pueden bio-acumular contaminantes, pero también es necesario acotar que probablemente el lodo obtenido del proceso necesite un tratamiento especial como un residuo peligroso [9].

De todos los estudios analizados se evidencia que, todos se enfocan en realizar tratamientos destructivos e incluyen procesos biológicos, mismos que pueden ser aeróbicos y anaeróbicos; pero en las investigaciones publicadas se basan en dar procedimientos físico-químicos a las aguas de curtiembres con el fin de separar los residuos orgánicos y biodegradables ya sea por sedimentación o por floculación; pero en el caso de la etapa del curtido de la piel, lo que se pretende es separa el cromo hexavalente del agua, mismo que es el compuesto más peligroso y contaminante de la industria curtiembre.

Al analizar las características de diferentes materiales para ser usados como materiales filtrantes para tratar aguas residuales, se identificó uno con características particularmente adecuadas para tratar el agua estudiada en el presente trabajo experimental. La piedra pómez puede ser usada para diseñar sistemas de filtración biológica ascendente, ya que se puede aprovechar su composición física, misma que es un piro clasto poroso con la capacidad de absorber el agua hasta 90 veces su peso en el transcurso de hasta 120 minutos. La piedra pómez está compuesta en su estructura molecular por oxido de silicio (SiO₂) y oxido de aluminio (Al₂O₃) mayormente; pero también tiene Oxido ferroso (Fe₂O₃), Oxido de calcio (CaO), oxido de sodio (Na₂O) y oxido de potasio (K₂O); y además se ha comprobado a nivel de laboratorio que este material es prometedor para absorber materia orgánica y adecuado para disminuir DQO en aguas residuales; en la investigación “Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego” se plantea que; cuando a la piedra pómez se la mezcla con cascarilla de arroz, se puede reducir el DQO en un 16% hasta el 29,2% de los compuestos orgánicos del sistema de filtración biológica ascendente diseñado [10], [11]. Con las características descritas del material pomáceo, el uso del mismo

puede ayudar significativamente a tratar las aguas de curtiembres; ya que se pretende que a través de un proceso de filtrado, los contaminantes como el cromo hexavalente sea retenido en los poros de la piedra zeolita.

Al considerar la capacidad de contener agua dentro de la estructura porosa de la piedra pómez; se ha venido investigado esta característica en particular por Miguel Ángel Segura Castruita y otros [12], con el fin de lograr conocer los niveles de retención del agua y humedad, para así poder aprovechar el uso y eficiencia del agua en el riego. En un estudio donde se experimentó con material pomáceo y arena formando sustratos con estos dos materiales, se determinó que al combinar la arena con un 30% de piedra pómez en base a volumen se puede contener la humedad inicial en un 44,40%, es decir que, se puede aprovechar la capacidad de retener agua del material pomáceo para hacer un uso eficiente del recurso agua en el riego.

De todos los trabajos experimentales analizados, se ha verificado que todos tienen un alto valor investigativo, ya que se han obtenido resultados favorables en la mayoría de los casos; pero en ningún estudio se ha considerado el factor económico en las investigaciones planteadas, ya que es adecuado garantizar que la implementación de cualquier técnica o proceso de depuración en cualquier industria sea factible de realizarlo en términos económicos; ya que al implementar un sistema de depuración a un proceso industrial, este puede representar un costo elevado en la producción y con esto puede generar graves problemas de sostenibilidad de la empresa. Pero al constatar que la piedra pómez es un material económico y de fácil acceso en el medio, es adecuado decir que su implementación en un proceso de producción no generaría gastos elevados, y más bien ayudaría a garantizar que las aguas tratadas con este material, se devuelvan a los cauces naturales con niveles de contaminación permisibles.

Para conocer con mayor profundidad todas las ventajas y desventajas que puede producir la utilización de la piedra pómez como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de curtiembres, en el contexto del presente trabajo experimental, lo que se desea conocer es el nivel de eficiencia en el uso de la piedra pómez como material filtrante de las aguas residuales provenientes de una curtiduría; además de conocer el tiempo de saturación por contaminante en el material pomáceo,

y así poder determinar el periodo de vida útil que puede tener este material biodegradable.

Con los antecedentes detallados, se puede describir al filtro con piedra pómez como un sistema de filtración biológico descendente, ya que el prototipo diseñado para la investigación es un reactor aeróbico que permite tener el agua residual en suspensión, en un medio de tratamiento continuo, donde el uso de la piedra pómez permite la formación de una capa muy fina que facilita la retención de sólidos por absorción [11]. Además de considerar que el uso de la piedra pómez en la bio filtración de residuos orgánicos como inorgánicos es óptimo, desde un punto de vista tanto económico como técnico, ya que se aprovecharía la gran capacidad del material para absorber agua de manera eficaz.

1.6. Justificación.

Dado el avance tecnológico de los últimos tiempos, se está tratando de buscar soluciones concretas para mitigar la contaminación ambiental en todos los lugares del mundo a través de la investigación e innovación, proponiendo herramientas y equipos que se han venido investigando en todos los campos científicos de la investigación y experimentación en el transcurso de los últimos años para buscar soluciones que ayuden a reducir la contaminación ambiental al menos a niveles permisibles; y así estos no contaminen desmesuradamente el medio ambiente.

En el Ecuador la falta de planificación de las ciudades y la falta de organización territorial en los diferentes niveles de gobierno han provocado que las ciudades crezcan indiscriminadamente sin ningún tipo de planificación en relación a las infraestructuras necesarias para que las poblaciones e industrias asentadas en sus territorios sean sostenibles y sustentables [13]. Esto ha conllevado a que; la búsqueda de soluciones a los problemas de asentamientos humanos mal asignados, resulten tener un costo demasiado elevado. Uno de los principales problemas que tiene el país, es la falta de tratamiento de sus aguas residuales en la mayoría de las ciudades; y estas están provocando problemas en la salud de la población, debido a la incidencia en el consumo de las aguas contaminadas para la producción agrícola y el consumo humano [14]. Y aun que, actualmente las diferentes municipalidades están orientando sus esfuerzos para dar solución a estos problemas, a través de la construcción de plantas

de tratamiento de aguas residuales, estas no son adecuadas para tratar las aguas residuales provenientes de industrias, ya que estas contienen componentes tóxicos y metales pesados que necesitan tratamientos especiales.

En la ciudad de Ambato la contaminación de sus ríos es debido a que, las aguas residuales son arrojadas a los afluentes con un tratamiento residual básico y preliminar; esto ha provocado que la contaminación de las riveras de los ríos sea elevada y se produzca la degradación de la flora y fauna y además malos olores, mismos que contaminan el medio ambiente [15]. El problema se agrava, debido a que en la ciudad las industrias que producen aguas residuales altamente contaminadas están dispersas en toda la ciudad; y además no se cuenta con un plan maestro de ordenamiento territorial para la reubicación principalmente de las industrias que producen desechos tóxicos y contaminantes.

Un problema recurrente de la industria de la curtiduría en la ciudad, es que este sector empresarial no cuenta con el apoyo suficiente, en la investigación sobre el tratamiento de las aguas residuales altamente tóxicas que producen; y el presente trabajo investigativo está direccionado a ayudar al sector a buscar soluciones viables, factibles y económicas para tratar las aguas residuales que producen; a través de una alianza público – privado; donde la principal herramienta es la investigación de campo, de laboratorio y la experimental; todo con el fin de buscar solucionar los problemas de gran incidencia con la colectividad y el medio ambiente, especialmente apoyar a la industria del cuero.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

- ✓ Analizar la Piedra Pómez como material filtrante en el tratamiento de las aguas residuales proveniente de la Curtiduría Artesanal Palahua, ubicada en la Parroquia Totoras, del Cantón Ambato y de la provincia de Tungurahua.

1.7.2. Objetivos específicos.

- ✓ Conocer la infraestructura y funcionamiento básico de la Curtiduría Artesanal Palahua.
- ✓ Determinar el comportamiento de los caudales utilizados en la Curtiduría Artesanal Palahua.

- ✓ Monitorear las características de bio - degradación (DBO_5 y DQO), cromo hexavalente y pH; de las aguas residuales provenientes de la Curtiduría Artesanal Palahua; con muestra cruda y luego del proceso de filtración
- ✓ Determinar si la Piedra Pómez puede ser utilizada como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de Curtidurías.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Fundamentación teórica.

2.1.1. Aguas residuales.

Las aguas residuales están compuestas por la mezcla de varias corrientes de agua de descargas; luego de ser usadas, mismas que puede ser de uso público urbano, domestico, comercial, industrial, agrícola, de servicios, etc.; y en general se define como un agua que se dio un uso previo, para luego evacuarlo por un medio de descarga al alcantarillado público o a un medio acuífero. El punto crítico de las descargas de estas aguas es que se pueden mezclar con las aguas subterráneas infiltradas en el recorrido de su descarga, o cuando se mezclan con las aguas pluviales o superficiales en los casos que se realizan sistemas de alcantarillado combinado [16].

2.1.1.1. Clases de aguas residuales.

Se han definido 3 tipos principales de aguas residuales:

2.1.1.1.1. Aguas residuales domésticas.

Se definen como aguas residuales domesticas a las aguas que provienen de viviendas y de servicios; son de origen antrópico, es decir que se generan por el metabolismo humano y se proceden principalmente del uso doméstico [17].

2.1.1.1.2. Aguas residuales industriales.

Se conforman por todas las aguas provenientes de los residuos líquidos industriales y comerciales; estas no pueden ser efluentes de escorrentía pluvial, ni doméstica [18]. Por su lugar de procedencia contienen residuos contaminantes para el medio ambiente, pero el grado de toxicidad depende directamente de la industria de la que procede; esto es debido a que todas las industrias producen diferentes tipos de efluentes y estos pueden ser con pH acido o básico.

2.1.1.1.3. Aguas residuales urbanas.

Por lo general son las aguas residuales domésticas siempre están presentes en estos efluentes, pero también se considera a la mezcla de las aguas residuales industriales y las aguas pluviales; o a la mezcla de las tres. Las tres aguas residuales generalmente son recogidas por un colector y este a su vez las envía a una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) [17].

2.1.1.2. Tratamientos para depurar las aguas residuales.

Para el saneamiento y tratamiento de las aguas residuales, es necesario someterlo a diferentes procesos, para así poderlos devolver al medio ambiente en condiciones adecuadas para evitar el deterioro del mismo. Es importante acotar que las estaciones receptoras de las aguas residuales, en algunos casos son incapaces de descontaminar, absorber y neutralizar la carga contaminante, por esta razón se ha visto la necesidad de que las aguas residuales reciban un tratamiento previo antes de ingresarlas a las estaciones de depuración [19].

En el transcurso de los últimos años se ha hecho muy importante instalar como parte de un sistema de alcantarillado urbano la implementación de colectores de recolección de aguas residuales urbanas, y plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que con estas plantas los contaminantes presentes en el agua residual son removidos o transformados para ser usados en otros procesos; con estos procedimientos se obtiene una mejora considerable en la calidad del agua; esta a su vez se le puede dar otros usos o se la puede devolver a los cauces naturales. Todos los residuos sólidos como los lodos o los residuos retenidos tanto en las rejillas o en el desarenador, son obtenidos del proceso de tratamiento y estos deben ser tratados adecuadamente para ser reutilizados como abonos orgánicos o darles otros usos, ya que en caso de no tener un manejo adecuado, puede producir impactos en la naturaleza o también en la salud humana. El propósito fundamental de darle un tratamiento a las aguas residuales es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual está presente en forma de partículas disueltas o en suspensión; el fin último de la remoción de residuos contaminantes del agua es alcanzar la calidad de agua requerida por la normativa ambiental de descarga o también dependerá del tipo de reutilización que se dará al agua tratada y a los residuos sólidos [16].

Los procesos que se deben considerar en una Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) son los siguientes:

2.1.1.2.1. Tratamiento preliminar.

Se trata de un pretratamiento, y este consiste en realizar una serie de operaciones físicas y mecánicas con el fin de separar la mayor cantidad de materias y partículas que por su naturaleza pueden ocasionar problemas en las siguientes etapas del tratamiento propiamente dicho. Un diseño adecuado y efectivo al momento de remover grandes

sólidos en las aguas residuales antes de entrar a la etapa de tratamiento es muy importante; ya que si en esta etapa no se eliminan estas partículas y estas pueden ocasionar taponamiento en las tuberías, válvulas y bombas, también pueden dar un desgaste acelerado de los equipos y finalmente pueden originar la formación de costras.

Dentro de esta etapa están las operaciones de: separación de sólidos, desbaste o remoción de sólidos pequeños y medianos, tamizado o disminución de sólidos en suspensión, desarenado o eliminación de materiales pesados o arenas y finalmente el desengrasado o eliminación de grasas y materias flotantes [18].

2.1.1.2.2. Tratamiento primario.

En esta etapa se puede remover una porción de los sólidos y la materia orgánica suspendida utilizando el principio básico de la gravedad. El porcentaje de eliminación de sólidos suspendidos y DBO₅ son normalmente del 60% y 30% respectivamente. Todo este proceso se logra por la sedimentación de las materias más pesadas, y con este tratamiento se da paso al tratamiento secundario [16]. El principal objetivo de este proceso es eliminar sólidos en suspensión, pero también se aprovecha la capacidad de reducir cierta cantidad de material biodegradable, debido a que una cantidad de los sólidos eliminados están formados por materia orgánica.

Los procesos regulares en el tratamiento primario son la decantación primaria o eliminación de la mayor parte de los sólidos sedimentables a través de la acción de la gravedad; y los tratamientos fisicoquímicos o adición de reactivos químicos para la eliminación de sólidos en suspensión y sólidos coloidales a través de un proceso de coagulación y floculación [18].

2.1.1.2.3. Tratamiento secundario.

Es un proceso en el cual se consigue la disminución de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual; en este tratamiento se realiza solamente procesos biológicos, mediante la reducción de la materia orgánica dividida, misma que se puede remover una vez sedimentados los flóculos; toda vez que hayan descendido en los tanques de decantación. Los tratamientos biológicos más comunes son: por filtración biológica, por lodos activados, por lagunas de oxidación o por reactores anaeróbicos; todo dependerá de los requerimientos específicos del agua residual a tratar [19].

2.1.1.2.4. Tratamiento terciario o avanzado.

Son los tratamientos más rigurosos del proceso de tratamiento de las aguas residuales, ya que permiten devolver a los cauces naturales un agua tratada que cumpla con las normativas respectivas de cada sector. La eliminación de la materia coloidal dispersa en el agua tratada se puede lograr por medio de la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y fosforo a través de la precipitación química [18].

2.1.1.2.5. Desinfección.

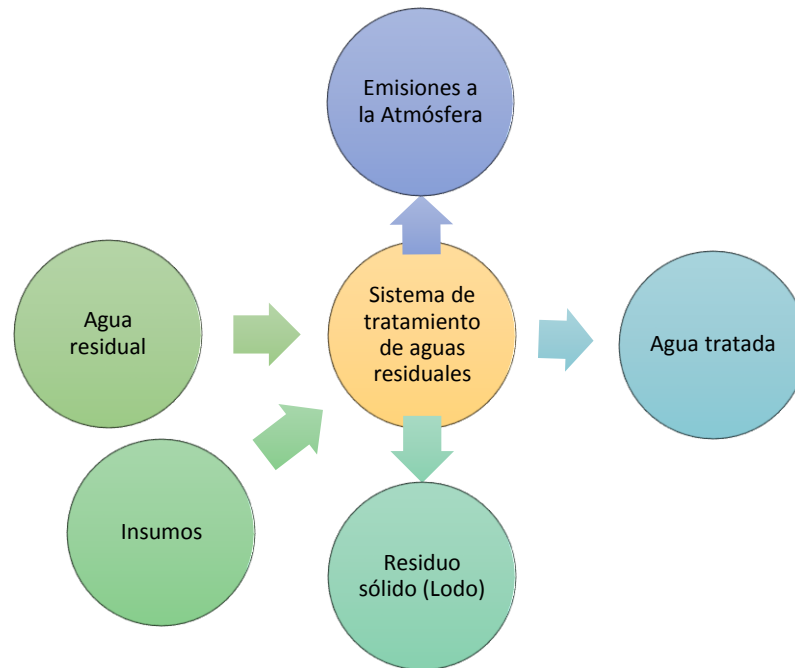
Es la eliminación y destrucción de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, antes de ser vertidas a un medio acuífero; ya que estas pueden provocar enfermedades tanto a animales como a la flora y fauna. Este propósito se logra añadiendo compuestos químicos, físicos mecánicos y radiación en el caso de ser necesario [19].

2.1.1.2.6. Disposición de lodos.

El tratamiento de las aguas residuales produce inevitablemente lodos, y con el principio de la conservación de la materia se puede deducir que; como la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma; y en este caso todos los contaminantes, compuestos orgánicos e inorgánicos se transforman en lodos. Es muy importante darle un tratamiento adecuado a los lodos, ya que se trata de materia orgánica putrescible, provenientes de los tratamientos primarios en un rango del 0.22% al 0.93% del volumen del agua residual y también provienen del tratamiento secundario y su rango varía entre 0.08% al 0.10% del volumen total del caudal tratado.

El proceso más común para tratar los lodos son el espesamiento, la estabilización, el acondicionamiento y el secado [16], [18], [19].

Gráfico 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Selección de tecnologías para el tratamiento de Aguas Residuales Municipales [16].

Para el caso de la depuración de las aguas residuales provenientes de industrias, se debe considerar otros factores, diferentes a las aguas residuales domésticas y urbanas; debido a que la composición tanto física como química de estas aguas, hacen imposible ser tratadas en una planta EDAR, ya que por su alto contenido de compuestos tanto orgánicos, inorgánicos y químicos imposibilitan ser tratadas con métodos convencionales.

2.1.1.3. Tratamientos para eliminar compuestos orgánicos de las aguas residuales industriales.

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales deben garantizar la eliminación y recuperación de los compuestos orgánicos en el nivel estipulado por la respectiva normativa ambiental para que el efluente pueda ser reinsertado en un cauce, de acuerdo al grado de rigurosidad de la legislación correspondiente, misma que regula el vertido de los efluentes industriales a fin de garantizar que los niveles de contaminación sean mínimos en el medio ambiente o sean aptos para su reutilización. Los niveles máximos permisibles se logran mediante el uso de técnicas tanto destructivas como no destructivas, tal como se muestra a continuación [17].

Tabla 1. Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales industriales.

Métodos no destructivos	Métodos destructivos
✓ Adsorción (Carbón activado y otros adsorbentes)	✓ Tratamiento biológico (Aeróbico y anaeróbico)
✓ Desorción (Stripping)	✓ Oxidación química
✓ Extracción en fase líquida con disolventes	- Incineración
✓ Tecnología de membranas (Ultrafiltración y nano filtración)	- Oxidación húmeda catalítica y no catalítica
	- Oxidación húmeda supercrítica
	- Procesos avanzados de oxidación

Fuente: Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales [17].

Es necesario realizar la eliminación de la materia en suspensión, ya que estas partículas son indeseables en los diferentes procesos de tratamiento; su eliminación se la puede realizar por procesos mecánicos, pero también en ciertos casos es necesario usar algún aditivo químico para lograr separar los compuestos más pesados, a este proceso se lo llama tratamiento físico - químico.

De las operaciones unitarias más relevantes en el presente trabajo investigativo esta los siguientes:

2.1.1.3.1. Desbaste.

El principal objetivo de esta operación es eliminar los sólidos de gran tamaño, el proceso se lo lleva a cabo para evitar que dañe los equipos utilizados en tratamientos posteriores, se puede decir que se trata de un pretratamiento antes de remover los compuestos químicos contaminantes. Para ejecutar este proceso se hace circular el agua residual por medio de rejillas de 6 o más mm, mismas que están colocadas paralelamente y están espaciadas entre 1 a 10 cm.

2.1.1.3.2. Sedimentación.

En esta operación física se aprovecha la fuerza de la gravedad para sedimentar las partículas más densas del agua residual, ya que al tener una trayectoria descendente vertical, se aprovecha para depositar estas partículas en un sedimentador. En este proceso se obtiene mejores resultados cuando mayor son las partículas a sedimentar, ya que a mayor tamaño es mayor la velocidad de sedimentación; este es un factor muy importante para el diseño del sedimentador. Para tener mejores resultados con este

proceso se puede combinar un proceso adicional de coagulación y floculación antes de remover los sedimentos.

2.1.1.3.3. Floculación.

Consiste en una operación física, donde se busca generar pequeñas burbujas de aire, mismas que se asocian a las partículas presentes en el agua contaminada y son elevadas a la superficie de donde son retiradas y sacadas del sistema. Este método funciona siempre y cuando las partículas tengan una densidad inferior a la del agua.

2.1.1.3.4. Coagulación y floculación.

Para este método las partículas en suspensión deben tener partículas muy pequeñas (10^{-6} a 10^{-9} m); las suspensiones coloidales que se forman por lo general son muy estables, esto se debe a las interacciones eléctricas que se producen entre las partículas. Para que se desestabilice la suspensión coloidal se debe adicionar algún tipo de aditivo químico, con el fin de formar flóculos sedimentables para su posterior remoción [17].

2.1.2. Proceso de filtración.

Esta operación consiste en pasar el agua a través de un medio poroso filtrante, con la finalidad de retener la mayor cantidad de materia en suspensión. Tradicionalmente se usa para este proceso un medio poroso como una cama de arena con una altura variable dispuesta en distintas capas de arena de diferente granulometría, siendo la capa superior la que contenga las partículas más finas. Para tener excelentes resultados también es recomendable realizar un proceso de coagulación y floculación previo [17].

2.1.2.1. Biofiltración

La biofiltración se basa en la capacidad de ciertos compuestos orgánicos de actuar como resinas naturales, mismas que son capaces de adherir a su estructura diferentes sustancias contaminantes, por medio de mecanismos de adsorción o absorción y ayudar a implantar microorganismos capaces de biodegradar los contaminantes retenidos [20]. La biofiltración se puede realizar en medios porosos como en materiales pomáceos o también en medios granulares como en la arena u otros; este sistema tiene la característica de descontaminar el agua en un solo proceso, por medio de procesos físicos y bioquímicos que permiten la formación de una capa biológica sobre la superficie receptora del agua residual [21].

2.1.2.2. Biodegradación

Bioquímicamente, el fundamento en el que se basa la biorremediación es que en la cadena respiratoria o transportadora de electrones de las células, se producen en un sinnúmero de reacciones de óxido-reducción con la finalidad de obtener energía. La cadena de biodegradación la inicia un sustrato orgánico y este a su vez actúa como donador de electrones y está fuera de la célula, de tal modo que la actividad metabólica de la célula termina degradando y consumiendo la sustancia [22].

2.1.2.3. Sistemas de filtración.

Estos sistemas representan una alternativa diferente a los procesos fisicoquímicos, su objetivo es separar las partículas y microorganismos suspendidos en el agua residual, mismos que no hayan sido removidos por medio de otros procesos [21].

De los sistemas de filtración estudiados hasta la actualidad tenemos dos muy importantes:

2.1.2.3.1. Filtración por gravedad.

En este proceso el agua recorre una trayectoria vertical y en descenso a través de la acción simple de la gravedad. De este método tenemos los sistemas de filtración lenta y los sistemas de filtración rápida; el mecanismo de separación de los compuestos es una combinación de retención, adhesión, atracción y asentamiento.

2.1.2.3.2. Filtración por presión.

Es un proceso en el que el agua residual está contenida en un recipiente y a su vez es obligada a atravesar un medio filtrante por medio de presión. Con este método también tenemos filtración lenta y rápida [17].

2.1.3. Piedra Pómez.

La piedra pómez es un material de procedencia ígnea, además de ser un piro clasto de estructura porosa, en forma de celdas donde pueden almacenar agua, su formación se da por el enfriamiento brusco de un magma ascendente de viscosidad elevada; generalmente tiene una coloración gris, pero esta puede variar de acuerdo al lugar de procedencia, su densidad puede variar entre el 0.4 y 0.9 gr/cm³, puede obtener un pH de 7,3 en un medio húmedo de hasta el 3.4% de humedad [11].

2.1.3.1. Composición química del material pomáceo.

Su estructura molecular está básicamente constituida de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 2. Composición Química de la Piedra Pómez.

Formula del compuesto	Nomenclatura Internacional	Porcentaje
SiO₂	Anhídrido silícico	65,90%
Al₂O₃	Oxido de aluminio	11.20%
Fe₂O₃	Oxido férrico	1.25%
MgO	Oxido de magnesio	0.52%
Na₂O	Oxido de sodio	2.10%
K₂O	Oxido de potasio	3.20%

Fuente: Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite [10].

2.1.3.2. Uso de la piedra pómez en filtración.

El uso de la piedra pómez tiene un gran potencial en todas las actividades que lleva acabo el ser humano, ya que se puede aprovechar la estructura física de sus partículas; los usos más comunes están en la construcción, pero también se le ha dado un uso para el aseo cotidiano en cierto casos, además de que se implementó en la industria de la fabricación de jeans; pero el uso en el que nos enfocaremos en el presente trabajo investigativo, será en el empleo de estas partículas en los procesos de biofiltración, ya que por diferentes estudios se ha venido comprobando que es un material eficaz para remover residuos contaminantes de las aguas industriales, esto se debe a que por su naturaleza porosa ayuda a retener agua y gran parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua.

A través de estudios realizados en laboratorio se comprobó que este material tiene un gran potencial de absorción, ya que tiene la capacidad de reducir el DQO de diferentes aguas residuales; una de sus principales características es que tiene la capacidad de retener agua hasta 90 veces su peso en el transcurso de 120 minutos. Desde un punto de vista económico este material es idóneo para ser usado en procesos de biofiltración, ya que son fáciles de conseguir y su costo es bajo en comparación con otros materiales utilizados para el mismo fin [11].

2.1.4. Parámetros de calidad del agua.

Para determinar los parámetros de calidad del agua se pueden emplear procedimientos fisicoquímicos y métodos biológicos; los métodos fisicoquímicos dan información de sobre las propiedades físicas y la naturaleza de los compuestos químicos del agua, pero no aportan con información sobre la influencia de las mismas en los medios acuáticos; el procedimiento que se debe llevar a cabo para obtener esa información es a través de métodos biológicos. La razón por la que se emplean los métodos fisicoquímicos es que son análisis rápidos que se pueden realizar in situ, por lo que permite mantener un mayor control y monitoreo frecuente a comparación de los métodos biológicos [23].

2.1.4.1. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Es un parámetro que sirve para medir el nivel de contaminación orgánica de los medios acuáticos; el parámetro determina la cantidad de oxígeno consumido por medio de microorganismos como levaduras en el metabolismo aeróbico de los compuestos orgánicos disueltos en el agua. El método consiste en analizar los compuestos orgánicos consumidos por 5 días en un medio herméticamente sellado [24].

2.1.4.2. Demanda Química de oxígeno (DQO)

Este parámetro se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente, por medio de la adición de un compuesto químico oxidante fuerte en un medio ácido a temperatura elevada; el DQO se usa como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales [1].

2.1.4.3. Cromo hexavalente (Cr^{6+}).

Generalmente el cromo usado en la industria curtiembre es el cromo trivalente y se emplea en forma de sales minerales, este compuesto se oxida al mezclarse con otros compuestos químicos, por lo que origina el cromo hexavalente, esta reacción química es común en el proceso del curtido del cuero y se ha comprobado que es un compuesto mutagénico y con altos niveles de toxicidad [1].

2.1.4.4. Potencial Hidrogeno (pH).

Es la medida química que indica el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia; representa el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones de hidrogeno de solución en moles por cada litro. Si el pH está en un rango mayor a 4.00 se trata de

una agua acida, si el pH está en el rango de 7.00 es una agua neutra; pero si su valor oscila en valores inferiores a los 10.00 es un agua alcalina o básica [25].

2.1.5. Descripción general de la Industria Curtiembre.

La industria del cuero y sus derivados a nivel nacional tiene mucha importancia, ya que este sector satisface la demanda nacional, pero es importante denotar que en la provincia de Tungurahua se encuentra el 75.6% de la actividad artesanal total de sector cuero, además de que solamente en Ambato se encuentra el 35% del total de empresas dedicadas a la fabricación de calzado de cuero a nivel nacional [26]. Es importante comprender esta particularidad, ya que debido a que en Tungurahua y Ambato se concentra la mayor actividad económica del sector, esto también conlleva a que la contaminación provocada por la industria curtiembre sea alta, ya que los residuos tanto sólidos como líquidos que genera esta industria no son tratados adecuadamente, por este motivo el Ministerio de Ambiente presta mayor control de esta actividad en la provincia de Tungurahua. Dada la problemática de la industria curtiembre, es necesario buscar soluciones amigables con el medio ambiente, además de considerar que el factor económico es muy importante para implementar mecanismos de depuración a un proceso industrial y más en el sector de la producción de cuero.

2.1.5.1. Consumo de agua en la producción de curtiembres.

En los procesos que se lleva a cabo en una industria curtiembre, un insumo muy importante es el agua que se requiere para poder realizar el tratamiento del cuero. Varios estudios sugieren que para realizar todo el proceso de transformación de piel en cuero se requiere aproximadamente de 50 a 100 litros de agua por cada kilogramo de piel salada [2].

2.1.5.2. Producción del cuero con uso de sales de cromo.

El proceso para curtir el cuero es el método donde se usan las sales de cromo para estabilizar las fibras de colágeno y así obtener un cuero estable y durable. Este método es el más utilizado, debido a que la demanda es muy alta, para la fabricación de artículos que utilizan el acabado que da este método al cuero. Debido a la variación de las condiciones de la piel que llega a las fábricas para ser procesadas la variación de las dosificaciones de los insumos y sales químicas es significativa, además que también depende de la calidad del producto que se desea obtener [27].

2.1.5.3. Procesos de producción en curtiembres con sales de cromo y su disposición de los residuos en el medio ambiente.

Para transformar las pieles de animales en cuero, se requiere de varios procesos físicos y químicos para lograr tener un producto de calidad; debido a la complejidad del proceso y a las múltiples variaciones de cada fabrica para procesar las pieles, para el presente estudio se tomaran en cuenta 3 etapas principales, mismas que describen el proceso desde que llegan las pieles a las fabricas desde los centros de faenado hasta obtener el producto final. Es importante implementar procesos de reciclaje de las aguas con curtientes, con el fin de aprovechar al máximo las aguas que contienen las sales de cromo, debido a que estas aguas son las que más daño provocan al medio ambiente al ser vertidas a los medios acuíferos. En diversos estudios se ha comprobado que la reutilización de las aguas del proceso de recurtido es efectiva para ser utilizadas en el proceso de curtido y basificado, la forma adecuada de reutilizar estas aguas es percolarlas una vez que salen de los tambores de recurtido para almacenarlas en recipientes que permitan la sedimentación de las partículas sólidas y la floculación de las grasas, una vez realizado este proceso simple y que no necesita de equipos, se puede reutilizar estas aguas en el proceso antes mencionado o en el caso de ser estrictamente necesario se debe añadir acido, enmascarante y sal de cromo para reactivar el agua del proceso de recurtido [2].

2.1.5.4. Proceso de ribera.

Esta es la etapa inicial en el proceso de pasar las pieles de animales a cuero; en esta etapa lo que se pretende es preparar, limpiar y acondicionar la piel para que las sales de cromo sean absorbidas fácilmente, en este proceso también es importante garantizar que la humedad sea la óptima para realizar las siguientes etapas; se considera que aproximadamente el 50% del agua total de la curtiembre se utiliza en este proceso.

De los procesos más relevantes en esta etapa están la recepción de pieles que pueden ser frescas o saladas; el remojo o lavado aquí se elimina la superficie de la piel de cualquier residuo y se desinfecta e hidrata; el pelambre es donde se depila la piel y se elimina todo residuo de queratina además de hincharla homogéneamente para el proceso de curtido; finalmente se realiza el descarnado y dividido para separar la piel de los residuos de carne, grasa subcutánea y tejido conectivo, este proceso se lo realiza con una maquina descarnadora para acelerar el proceso para el curtido [1], [9], [27].

2.1.5.5. Proceso de curtido.

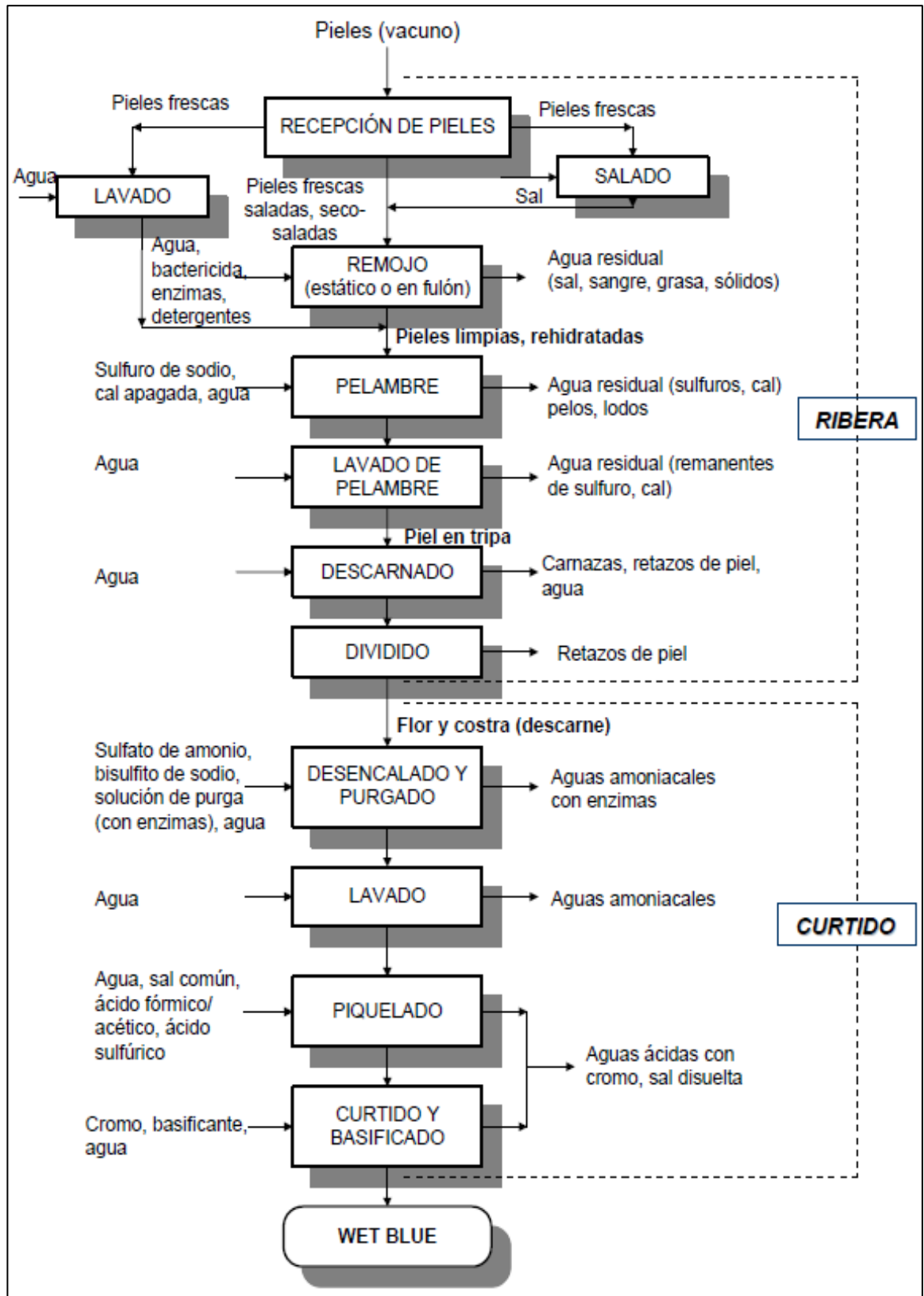
En este proceso se debe asegurar la estabilización del colágeno a través de la adición de productos químicos o sintéticos, de los cuales los más utilizados son las sales de cromo; la dosificación de reactivos químicos e insumos depende de las condiciones de la piel a procesar, el producto que se desea obtener y el método que se emplea en el proceso.

Antes de realizar el proceso de curtido hay que acondicionar la piel; primero con el proceso de descalcado y purgado, estos procesos se los puede realizar al mismo tiempo con el mismo baño en el tambor o fulon giratorio, su objetivo es eliminar los residuos de cal, detener el hinchamiento, remover el sulfuro restante, eliminar las proteínas no colágenas, retirar las raíces de pieles sobrantes y neutralizar la piel agregándole químicos; acto seguido se debe realizar el desengrasado para eliminar todos los residuos de grasa, ya que estos pueden ayudar a formar jabones insolubles al reaccionar con el cromo; a continuación se realiza el piquelado para lograr alcanzar el pH necesario para el curtido y frenar cualquier tendencia al hinchamiento ácido de la piel; y finalmente se somete a la piel a baños con sales de cromo, este proceso se lleva a cabo para evitar que la piel entre en un proceso de putrefacción, ya que los agentes curtientes son fijados a las fibras de colágeno estabilizándolas al formar uniones químicas, esta operación se la realiza por al menos 12 horas, donde el agua debe estar normalmente a 40°C y el porcentaje de sales de cromo que se deben añadir en relación al peso de pieles tratadas es del 7 al 8% [9], [27].

2.1.5.6. Proceso de post - curtido.

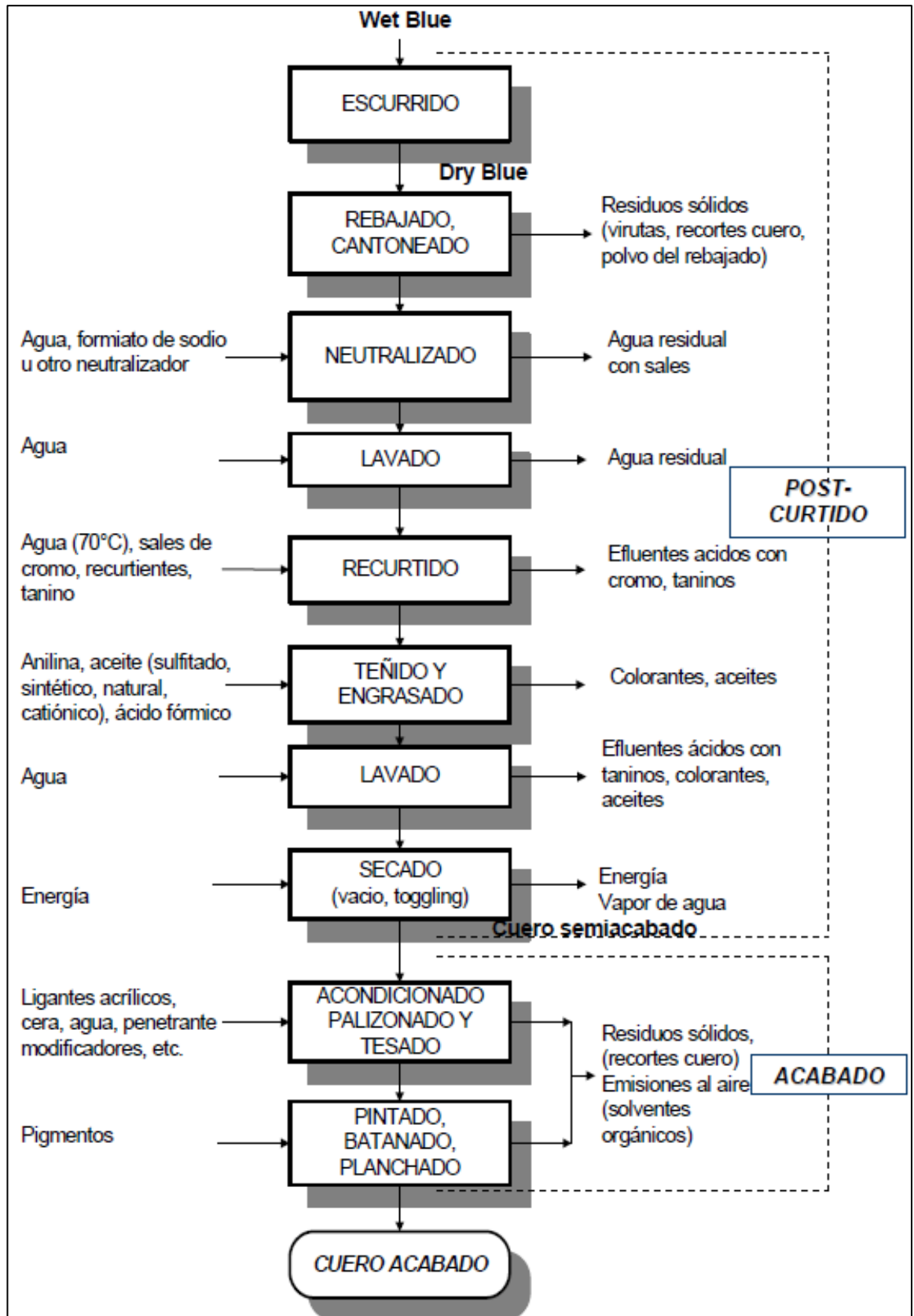
El proceso de post – curtido comprende todos los pasos realizados después de que las pieles han sido convertidas en cuero luego del curtido. Para llevar a cabo este proceso se realiza el escurrido y exprimido para eliminar el exceso de agua ya sea por escurrido natural o por exprimido mecánico; el rebajado se lo realiza con una máquina para regular el espesor del cuero pero en este proceso se genera viruta con contenidos de cromo; en la neutralización se eleva el pH ácido del cuero agregándole bicarbonato de sodio en un medio húmedo; en el recurtido se da las propiedades finales deseadas en el cuero; el teñido sirve para dar color al cuero y se lo puede realizar con el recurtido a la vez; el engrasado le da mayor durabilidad al cuero y finalmente se realiza el secado en medio natural o en máquinas de secado [27].

Gráfico 2. Diagrama de flujo típico para la producción de cuero a partir de piel de vacuno.



Fuente: Guía Técnica de Producción más limpia para Curtiembres [27].

Gráfico 3. Diagrama de flujo típico para la producción de cuero acabado.



Fuente: Guía Técnica de Producción más limpia para Curtiembres [27].

2.2. Hipótesis.

¿Puede la piedra pómez usarse como material filtrante para optimizar el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal?

2.2.1. Hipótesis nula.

La Piedra Pómez como material filtrante no optimizará el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal.

2.2.2. Hipótesis alternativa.

La Piedra Pómez como material filtrante podrá optimizar el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal.

2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis.

2.3.1. Variable Independiente.

Piedra Pómez como material filtrante.

2.3.2. Variable Dependiente.

Valores de los parámetros de calidad de las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Nivel o tipo de investigación.

Considerando las características propias del presente trabajo experimental, es necesario analizar varios tipos de investigación, debido a que para desarrollarlo se presentaran varios factores que deberán ser considerados y analizados para obtener resultados que aporten al desarrollo de la investigación en el campo de los bio-filtros con materiales biodegradables.

3.1.1. Investigación exploratoria.

Debido a que aún no se ha analizado el uso de la piedra pómez como material filtrante, específicamente en el área de filtrado de aguas residuales provenientes de curtiembres; se ha considerado que el presente trabajo investigativo tiene una fase exploratoria, ya que se pretende conocer los niveles de descontaminación de las aguas residuales de curtiembres al ser tratadas y filtradas por el bio-filtro elaborado a base de piedra pómez con 3 tipos de granulometrías [28].

3.1.2. Investigación descriptiva.

El alto grado de concentración de contaminantes de las aguas residuales de curtiembres es muy significativo, debido a que la utilización de compuestos químicos tales como ácidos y sales de cromo en el proceso de tratamiento de las pieles de animales para hacerlas cuero, es muy elevado y al verterlas al alcantarillado público o a cauces naturales produce contaminación que debe ser reducida a niveles mínimos para que no produzcan daños a la naturaleza [28]. Por el hecho de realizar una descripción de las características, efectos en el medio ambiente e identificación de los rasgos más importantes y relevantes del agua residual de una curtiembre, se puede decir que el trabajo experimental que se desarrollara tiene una fase de investigación descriptiva muy significativa.

3.1.3. Investigación de laboratorio.

Las características de trabajo en las que funcionara el bio-filtro propuesto, hacen que se considere como una investigación de laboratorio, debido a que el filtro funcionara como un prototipo a escala nivel de laboratorio, además de que trabajara con pequeñas

muestras de agua residual para tratarlas con el prototipo de filtro hecho a base de piedra pómez [29], [30].

Además de que para conocer la granulometría del material pomáceo y su densidad se realizaran los respectivos ensayos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad a fin de conocer las características mecánicas del material empleado.

3.1.4. Investigación experimental.

Las mediciones periódicas que se realizaran a los parámetros de calidad del agua tratada hacen que el proyecto tenga un enfoque de investigación altamente experimental, debido a que los parámetros de calidad del agua variaran al ser tratadas con el filtro propuesto y al ser comparadas con las muestras iniciales respectivamente. Para tomar una muestra representativa del proceso de tratamiento del cuero se considerara un proceso completo en la industria ya que se tomaran muestras desde la etapa inicial donde las pieles de animales llegan a la fábrica frescas; hasta que dichas pieles se transforman en cuero [30], [31].

3.2. Población y muestra.

Es muy importante conocer la población y muestra en el trabajo experimental propuesto que debido a que es fundamental conocer lo que se va a estudiar y la cantidad que se va a analizar.

3.2.1. Población.

Se refiere al conjunto de individuos o elementos que tienen características que se pueden estudiar, analizando características en común, en un lugar y un tiempo determinado.

En el trabajo experimental planteado sea a considerado las características propias de la industria estudiada; es decir que, se consideró que la curtiembre procesa en una semana todo un lote completo de pieles, desde que las pieles llegan a la curtiembre, hasta que las pieles salen hechas cuero. Entonces se puede deducir que la población será de la siguiente manera:

$$V_{AR} = \bar{Q} * t$$

Ecuación 1

Donde:

V_{AR} : Volumen de agua residual.

\bar{Q} : Caudal promedio diario.

t : Tiempo en el que trabajo la curtiembre.

Datos:

$$\bar{Q} = 2,63 \text{ m}^3/\text{día}$$

$t = 10 \text{ días} \rightarrow$ representa 2 semanas de trabajo de la curtiembre

$$V_{AR} = 2,63 \text{ m}^3/\text{día} * 10 \text{ días}$$

$$V_{AR} = 26,3 \text{ m}^3 \rightarrow \text{ en 2 semanas de trabajo}$$

3.2.2. Muestra.

La muestra considerada es un subconjunto que representa fielmente a la población estudiada, en la investigación planteada se considerara que nuestra muestra es el volumen de agua residual de curtiembre realmente tratada; debido a que, es la característica que se desea estudiar. Para su determinación se han considerado las lecturas de volúmenes de entrada al tanque del bio-filtro prototipo y los volúmenes de agua consumida realmente por el filtro, mismas que se tomaron en situ. Su determinación se lo plantea de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 3. Volumen Real de Agua Tratada.

N° MUESTRA	FECHA	Vol. Agua inicial	Vol. agua final	Vol. agua permanente	Vol. agua tratada
		(Galones)	(Galones)	(Galones)	(Galones)
1	17/01/2018	55,00	23,00	10,00	32,00
2	18/01/2018	55,00	25,00	10,00	30,00
3	19/01/2018	55,00	20,00	10,00	35,00
4	23/01/2018	55,00	10,00	10,00	45,00
5	24/01/2018	55,00	22,00	10,00	33,00
6	25/01/2018	55,00	12,00	10,00	43,00
				TOTAL:	218,00

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

La metodología tomada en cuenta para determinar la población de estudio, será una media aritmética; debido a que, por las características propias de las aguas residuales que produce la curtiembre; el agua residual que consume el filtro no es constante todos los días, esto se debe a que la densidad de las aguas residuales de cada etapa en el procesamiento de las pieles es totalmente diferente; es decir, no se puede comparar las aguas residuales que produce el proceso de ribera con el proceso de curtido, ni tampoco con el proceso de post - curtido. Por esta razón y por lo planteado anteriormente tenemos que el volumen real de agua residual tratada es considerado de la siguiente manera:

Media Aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

\bar{X} : *Media de Volumen de Agua Residual Tratada por el filtro (V_{ART}).*

n : *Número de muestras tratadas.*

X_i : *Volumen de Agua Residual Tratada cada día.*

Datos:

$$\bar{X} = V_{ART}$$

$n = 6$ *muestras tratadas.*

$X_i =$ *Volumen de Agua Residual Tratada cada día.*

$$V_{ART} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{(32 + 30 + 35 + 45 + 33 + 43)gal}{6}$$

$$V_{ART} = 36,33 \text{ gal}$$

Con el antecedente planteado, se deduce que para determinar el volumen aproximado que consume cada día el filtro es una media aritmética del volumen de agua consumida cada día, tomando en cuenta los días que trabajo la fábrica en el procesamiento de pieles.

En promedio el filtro puede tratar un volumen de 36,33 gal cada día.

Entonces:

$$m = 36,33 \text{ gal} \times 5 \text{ días que trabaja la curtiembre}$$

$$m = 181,65 \text{ gal} / \text{semana de trabajo}$$

Donde:

m: Muestra.

3.3. Operacionalización de variables.

3.3.1. Variable Independiente.

Piedra Pómez como material filtrante.

Tabla 4. Operacionalización de la Variable Independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnica e Instrumento
El material filtrante es el medio por el cual un sistema de filtración descontamina las aguas con las que está en contacto, se puede realizar con cualquier material granular, pomáceo y biodegradable; o con una mezcla en proporciones adecuadas de cada uno de ellos.	Sistema de filtración	Sistema de filtración de aguas residuales Sistema de filtración de aceites y grasas Sistema de filtración del aire	¿Los sistemas de filtración de aguas residuales reducen la contaminación a niveles mínimos estipulados por la normativa ambiental? ¿Un sistema de filtración de aceites y grasas funciona adecuadamente con biomateriales?	Análisis físico-químicos de laboratorio Observación en situ de las aguas tratadas Cuaderno de apuntes del periodo de filtrado
	Descontaminación	Aguas industriales Suelos Aire	¿Son las aguas industriales descontaminadas, utilizando bio-filtros para tratarlas? ¿Ayuda la descontaminación del agua a mejorar la calidad de los suelos? ¿Cuánto se puede mejorar la calidad del aire contaminado en una industria usando un filtro?	Análisis físico-químicos en laboratorio de muestras de agua Observación en situ de las aguas tratadas con el cuaderno de apuntes del periodo de filtrado

Fuente: Tutoría de la Investigación Científica [31].

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

3.3.2. Variable Dependiente.

Valores de parámetros de calidad de las aguas residuales provenientes de una curtiduría artesanal.

Tabla 5. Operacionalización de la Variable Dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnica e Instrumento
Los parámetros de calidad del agua son los indicadores que se miden en el agua para conocer el estado en el que se encuentra, los parámetros medidos son físicos, químicos y microbiológicos.	Parámetros	Potencial hidrogeno (pH) Demanda Bioquímica del agua (DBO ₅) Cromo hexavalente (Cr ⁶⁺)	¿Cuál es el nivel de contaminación de las aguas residuales de curtiembres? ¿Se puede reducir los niveles de contaminación de las aguas residuales de curtiembre? ¿Qué material filtrante reduce mejor la contaminación de diferentes aguas residuales?	Análisis físico-químicos hechos en laboratorio de muestras de agua Observación en situ de las aguas tratadas con el cuaderno de apuntes
	Calidad del agua	Descarga de aguas contaminadas a medios acuíferos Deterior de la calidad del agua por el consumo en procesos industriales	¿Es adecuado descargar las aguas residuales industriales a los cauces naturales? ¿Cuánto contaminan las industrias en agua usada para sus procesos?	Observación periódica en situ a través de un diario Comparación con fichas bibliográficas sobre el cumplimiento de la normativa ambiental

Fuente: Tutoría de la Investigación Científica [31].

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

3.4. Plan de recolección de información.

Tabla 6. Plan de recolección de información para el trabajo experimental.

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	EXPLICACIÓN
¿Qué evaluar?	Piedra Pómez como material filtrante.
¿Sobre qué evaluar?	El grado de eficiencia del bio-filtro prototipo en el periodo de tiempo en el que trato las aguas residuales de curtiembres.
¿Sobre qué aspectos?	Sobre los parámetros físico-químicos del agua como son el DBO5, DQO, cromo hexavalente y pH
¿Quién evalúa?	Cristian Vinicio Siza Altashig
¿A qué se evalúa?	A las aguas residuales provenientes de la curtiduría Artesanal Palahua, tomadas antes ingresar al bio-filtro y después de ser tratadas.
¿Dónde se evalúa?	Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH. Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Curtiduría Artesanal Palahua
¿Cómo y con que se evalúa?	Se evalúa mediante análisis físico-químicos de las aguas residuales, realizadas en el Laboratorio de Servicios Ambientales Acreditado por el Ministerio del Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo; y las instalaciones del Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato con el equipo multi - paramétrico y un electrodo para medir pH.

Fuente: Tutoría de la Investigación Científica [31].

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

3.5. Plan de procesamiento y análisis.

3.5.1. Diseño del bio-filtro.

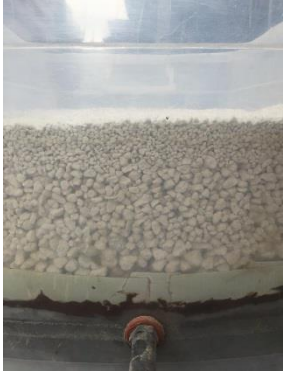
Para conocer aspectos técnicos relevantes para el diseño y dimensionamiento del filtro, se ha realizado un análisis profundo de propuestas investigativas relacionadas a temas

de tratamiento de aguas residuales de curtiembres y filtros elaborados a base de piedra pómez; la información analizada determino que si es viable realizar un estudio experimental, para analizar el comportamiento de la piedra pómez en la descontaminación de las aguas residuales de curtidurías. Estudios previos como “Biorremediación del cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*” [7], demuestran que es posible reducir la contaminación del cromo hexavalente de las aguas de curtiembre, e indica que para realizar una investigación sobre las aguas residuales en esta industria, es necesario diseñar un prototipo a escala laboratorio para poder experimentar con el material propuesto (Piedra Pómez), poder controlar los parámetros de calidad del agua y determinar la eficiencia del bio-filtro propuesto.

La granulometría del material pomáceo empleado se tomó en base a los estudios realizados por Eduardo Mayorga Llerena y David Carrera Villacrés donde combinan $\frac{1}{2}$ de piedra pómez y $\frac{1}{2}$ de cascarilla de arroz para tratar aguas contaminadas [11], además Miguel Ángel Segura Castruita y otros [12] demostraron que la piedra pómez es muy eficiente para incrementar la capacidad de retención de humedad del agua, al ser combinados con 70% de arena. Una vez analizada estas características se concluyó que; lo ideal es realizar el bio-filtro con 3 granulometrías diferentes, colocándose dentro de una cama base de filtrado la fracción más gruesa, seguido de la fracción media y finalmente con la fracción fina con unas proporciones del 40%,40% y 20% respectivamente de la piedra pómez.

En el diseño del bio-filtro propiamente dicho, se empleó un contenedor adecuado que sirve como cama base de la piedra pómez, sus dimensiones son aproximadamente de (57x42x34) cm. Para lograr que el agua residual que ingresa al filtro circule adecuadamente se acondiciono la cama base con una plancha metálica a fin de darle la pendiente ideal para que el agua escurra, además de sellar herméticamente la plancha metálica para evitar filtraciones debajo de la cama base, se adecuo una tubería de salida en el punto más bajo de la pendiente dispuesta para evacuar las aguas tratadas. Finalmente para lograr que el agua residual de entrada se distribuya adecuadamente sobre toda la cama base, se instaló en la parte superior una bandeja metálica agujereada con una pendiente mínima para lograr distribuir el caudal de entrada por todo el filtro, además de distribuir el agua residual de entrada sobre la bandeja agujereada con una

flauta de goteo, a fin de garantizar una distribución uniforme del agua residual sobre la bandeja agujereada y luego sobre el filtro.

		
<p><i>Ilustración 1. Granulometría empleada de piedra pómez.</i></p>	<p><i>Ilustración 2. Bandeja metálica sellada herméticamente</i></p>	<p><i>Ilustración 3. Flauta y bandeja agujereada de distribución.</i></p>
<p>Elaborado por: Cristian Siza, 2018</p>		

3.5.2. Preparación del material filtrante (Piedra Pómez).

La piedra pómez usada para la elaboración del prototipo de bio-filtro se obtuvo de las minas de Condorahua, perteneciente a la Parroquia El Rosario del Cantón Pelileo de la Provincia de Tungurahua. Se encuentra ubicada en las coordenadas longitud: 771601.31 m E y latitud: 9857954.36 m N en el sistema de coordenadas planas UTM, con proyección cartográfica WGS-84 y en la Zona 17 Sur.



Ilustración 4. Ubicación de la mina de piedra pómez Condorahua.

Fuente: Google Earth, 2018.

De la mina se obtuvieron muestras naturales de material pomáceo, con lo cual se procedió a llevarlos a los Laboratorios de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para determinar su granulometría a través de un ensayo granulométrico; de lo cual se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 7. Granulometría de la Piedra Pómez en su estado natural.

PROYECTO:	Análisis de la Piedra Pómez como material biodegradable y filtrante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la Curtiduría Artesanal Palahua, ubicado en la Parroquia Totoras, del Cantón Ambato y de la Provincia de Tungurahua.																																								
INVESTIGADOR:	Cristian Vinicio Siza Altashig.																																								
DIRECCIÓN:	Campus Huachi Chico - Av. Los Chasquis y Río Guayllabamba.																																								
UBICACIÓN DE LA MUESTRA:	Mina de Condorahua de la Parroquia El Rosario del Cantón Pelileo.																																								
ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS																																									
TAMIZ #	mm	PESO RET/ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN																																				
3"	76,10	0,00	0,00	100,00	-																																				
2"	50,80	0,00	0,00	100,00	-																																				
1 1/2"	38,10	17,90	0,18	99,82	-																																				
1"	25,40	259,60	2,60	97,40	-																																				
3/4"	19,05	434,10	4,34	95,66	-																																				
1/2"	12,50	754,50	7,55	92,46	-																																				
3/8"	9,53	1359,10	13,59	86,41	-																																				
#4	4,76	3181,50	31,82	68,19	-																																				
PASA #4		6818,50	68,19																																						
#8	2,36	301,30	14,31	53,87	-																																				
#10	2,00	382,90	18,19	49,99	-																																				
#16	1,18	592,00	28,13	40,06	-																																				
#30	0,60	723,90	34,39	33,79	-																																				
#40	0,43	760,90	36,15	32,04	-																																				
#50	0,30	786,00	37,34	30,84	-																																				
#60	0,25	801,00	38,05	30,13	-																																				
#100	0,15	835,40	39,69	28,50	-																																				
#200	0,08	880,30	41,82	26,36	-																																				
PASA #200		36,90	1,75																																						
TOTAL		10000,00																																							
Total - Cuarteo (gr)		1435,20																																							
OBSERVACIONES:		NORMA:	ASTM-C136																																						
<p>El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz (mm)</th> <th>% que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>76,10 (3")</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>50,80 (2")</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>38,10 (1 1/2")</td><td>99,82</td></tr> <tr><td>25,40 (1")</td><td>97,40</td></tr> <tr><td>19,05 (3/4")</td><td>95,66</td></tr> <tr><td>12,50 (1/2")</td><td>92,46</td></tr> <tr><td>9,53 (3/8")</td><td>86,41</td></tr> <tr><td>4,76 (#4)</td><td>68,19</td></tr> <tr><td>2,36 (#8)</td><td>53,87</td></tr> <tr><td>2,00 (#10)</td><td>49,99</td></tr> <tr><td>1,18 (#16)</td><td>40,06</td></tr> <tr><td>0,60 (#30)</td><td>33,79</td></tr> <tr><td>0,43 (#40)</td><td>32,04</td></tr> <tr><td>0,30 (#50)</td><td>30,84</td></tr> <tr><td>0,25 (#60)</td><td>30,13</td></tr> <tr><td>0,15 (#100)</td><td>28,50</td></tr> <tr><td>0,08 (#200)</td><td>26,36</td></tr> </tbody> </table>						Tamiz (mm)	% que pasa	76,10 (3")	100,00	50,80 (2")	100,00	38,10 (1 1/2")	99,82	25,40 (1")	97,40	19,05 (3/4")	95,66	12,50 (1/2")	92,46	9,53 (3/8")	86,41	4,76 (#4)	68,19	2,36 (#8)	53,87	2,00 (#10)	49,99	1,18 (#16)	40,06	0,60 (#30)	33,79	0,43 (#40)	32,04	0,30 (#50)	30,84	0,25 (#60)	30,13	0,15 (#100)	28,50	0,08 (#200)	26,36
Tamiz (mm)	% que pasa																																								
76,10 (3")	100,00																																								
50,80 (2")	100,00																																								
38,10 (1 1/2")	99,82																																								
25,40 (1")	97,40																																								
19,05 (3/4")	95,66																																								
12,50 (1/2")	92,46																																								
9,53 (3/8")	86,41																																								
4,76 (#4)	68,19																																								
2,36 (#8)	53,87																																								
2,00 (#10)	49,99																																								
1,18 (#16)	40,06																																								
0,60 (#30)	33,79																																								
0,43 (#40)	32,04																																								
0,30 (#50)	30,84																																								
0,25 (#60)	30,13																																								
0,15 (#100)	28,50																																								
0,08 (#200)	26,36																																								
CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO																																									
SISTEMAS	VISUAL: Grava bien graduada.																																								
	AASHTO: Material granular (A-1-b).																																								
	SUCS: Grava bien graduada (GW)																																								
Normas AASHTO: T-87-70 y T-88-70																																									

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Con el ensayo de granulometría se determinó que la granulometría adecuada para el filtrado es la fracción que pasa el Tamiz ½” o 12.50 mm y la fracción que retiene el Tamiz #8 o 2.36 mm.

Para determinar la densidad de la piedra pómez se procedió a determinarla con un ensayo simple de densidad, tomando en cuenta en principio básico:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ρ : Densidad

m : Masa

V : Volumen.

Se consideró esta fórmula matemática para calcular la densidad, debido a que los métodos convencionales para calcular la densidad de agregados no son efectivos en este material; esto se debe a la característica propia del material pomáceo; es decir que, por ser un material altamente poroso tiende a flotar cuando se le sumerge en agua; entonces para determinar la densidad de la piedra pómez se procedió a medir las dimensiones de un recipiente para conocer el volumen y luego se procedió a llevar el mismo recipiente previamente encerado en una balanza electrónica para medir el peso del material contenido y así conocer la masa; este procedimiento se realizó 3 veces por cada fracción de material pomáceo y con esto se reduce la probabilidad de error del ensayo; entonces para su cálculo se procedió de la siguiente forma:

Datos del recipiente cilíndrico:

$D = 8.51 \text{ cm.} \rightarrow$ Diametro

$h = 8.57 \text{ cm.} \rightarrow$ Altura del recipiente.

Volumen del recipiente cilíndrico:

$$V_r = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_r = \frac{\pi \cdot (8,51 \text{ cm})^2 \cdot 8,57 \text{ cm}}{4} = 487.45 \text{ cm}^3$$

Cuadro de masas medidas en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica con sus respectivos volúmenes, volumen promedio de cada uno y cálculo de la densidad de cada fracción de material pomáceo.

Tabla 8. Calculo de la densidad de cada fracción de la Piedra Pómez.

UNIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.			
FECHA:		03/01/2018			
Cálculo de las densidades de cada fracción de piedra pómez.					
TAMIZ #	mm.	MASA	MASA PROMEDIO	VOL. RECIP. VACIO	DENSIDAD POR FRACCIÓN
		(gr.)	(gr.)	(cm ³)	(gr/cm ³)
3/8"	9,52	171,20	167,45	487,45	0,3435
		166,51			
		164,65			
#4	4,76	199,71	189,52	487,45	0,3888
		182,91			
		185,93			
#8	2,36	205,42	203,84	487,45	0,4182
		200,41			
		205,69			

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Para determinar la cantidad de piedra pómez que se introducirá dentro del filtro se tomara en cuenta las 3 densidades de cada fracción de material, y se colocara de la siguiente manera:

Calculo del volumen total de Piedra Pómez:

$$V_T = \left[\frac{(B + b)}{2} * h \right] * a \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

V_T : Volumen Total de Piedra Pómez

B : Base mayor del trapecio.

b : Base menor del trapecio.

h : Altura.

a : Ancho.

Datos:

$B = 17,5 \text{ cm.}$

$b = 12,5 \text{ cm.}$

$h = 57,0 \text{ cm.}$

$a = 42,0 \text{ cm.}$

Entonces:

$$V_T = \left[\frac{(17,5 \text{ cm} + 12,5 \text{ cm})}{2} * 57,0 \text{ cm} \right] * 42,0 \text{ cm}$$

$$V_T = 35910,0 \text{ cm}^3$$

La cantidad de material que se introducirá en el Bio-filtro será calculado al peso, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 9. Calculo de los pesos de Piedra Pómez requeridos por cada fracción.

UNIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.			
FECHA:		03/01/2018			
CÁLCULO DE CANTIDADES DE PIEDRA PÓMEZ PARA EL BIO-FILTRO.					
TAMIZ #	mm.	PORCENTAJE	VOL. POR FRACCIÓN	DENSIDAD POR FRACCIÓN	MASA CALCULADA
		(%)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr.)
3/8"	9,52	40,00	14364,00	0,3435	4934,46
#4	4,76	40,00	14364,00	0,3888	5584,61
#8	2,36	20,00	7182,00	0,4182	3003,34
VOLUMEN TOTAL DEL PIEDRA PÓMEZ =			35910,00	cm ³	

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

3.5.3. Construcción del filtro prototipo a escala laboratorio.

La construcción de la estructura en la que se montara el tanque de 55 gal de capacidad y el contenedor de la cama base de piedra pómez se realizara con perfiles estructurales Tipo G de (60x30x10x2) mm. para la estructura principal y como correas unos perfiles Tipo L de (20x20x2) mm., mismos que serán soldados con soldadura AWS E70-18. Como soporte del tanque y el contenedor de la piedra pómez, se usara tableros de madera Tipo Palet como se muestra en la ilustración. La caída de agua que tendrá desde el tanque hasta el bio-filtro será de 1 metro de altura.



Ilustración 5. Armado de la estructura que soportara el filtro.



Ilustración 6. Montaje del filtro sobre la estructura.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018

3.5.4. Partes de bio-filtro y materiales.

- ✓ Tanque PVC de 55 gal de capacidad.
- ✓ 2 acoples herméticos PVC de ½”.
- ✓ Válvula de compuesta esférica PVC de ½”.
- ✓ Codo PVC de ½”.
- ✓ Te PVC de ½”.
- ✓ 2 tapones PVC de ½”.
- ✓ 2 metros de tubo PVC de ½”.
- ✓ 2 láminas metálicas de acero insociable de (600x500x1) mm.
- ✓ Arena seca para dar pendiente a una lámina metálica.
- ✓ Recipiente plástico Guarda móvil de (57x42x34) cm.

3.5.5. Costo del Bio-filtro prototipo de Piedra Pómez.

Tabla 10. Costo de elaboración del Bio-filtro de Piedra Pómez.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		USD	USD
Estructura metálica	1	60,00	60,00
Contenedor de cama base (Guarda fácil)	1	17,00	17,00
Tanque PVC de 55 gal	1	22,00	22,00
Tubo PVC de ½"	1	5,00	5,00
Válvula de compuerta esférica PVC de ½"	1	6,00	6,00
Laminas metálicas	2	1,50	3,00
Varios	1	40,00	40,00
Piedra Pómez	4	0,50	2,00
TOTAL:			145,00

Elaborado por: Cristian Siza, 2018

Los costos tomados en cuenta son los más relevantes, los accesorios menores requeridos para la fabricación del Bio-filtro están contemplados en el rubro de Varios.

3.5.6. Proceso de funcionamiento del bio-filtro.

Una vez que se ha armado el bio-filtro prototipo se procederá a trasladarlo a la curtiembre para su montaje y para realizar el respectivo llenado con agua residual de la curtiembre estudiada; se proyecta tenerlo en funcionamiento por el periodo de 15 días, debido a que la industria estudiada genera 1 proceso completo de tratamiento de pieles en una semana y para tener muestras representativas de cada etapa del tratamiento de pieles, se analizarán las aguas residuales tratadas y las que no tienen ningún tipo de tratamiento (Agua sin tratamiento). Los diferentes efluentes que produce la industria curtiembre en cada etapa del proceso, hacen que las densidades de las aguas arrojadas sean diferentes todos los días, por este motivo es necesario realizar un análisis del caudal real consumido por el filtro diariamente, además de considerar que por las características del armado del tanque, siempre se tendrá un

volumen constante de 10 gal, ya que el acople se colocó a una altura de 15 cm del tanque y por este motivo el filtro tendrá 10 gal de volumen constante.

La toma de las muestras con el caudal de entrada (Agua sin tratamiento) y salida (Agua tratada) del filtro, con el fin de evaluar y monitorear el nivel de contaminación real de cada etapa del proceso de la industria y además determinar el grado de eficiencia del bio-filtro. Por la diferencia de las densidades de las agua producidas fue necesario tomar el caudal real con la ayuda de un vaso de precipitación de 400 ml y un cronometro; además de acotar que por las características del agua residual ya detalladas fue imposible trabajar con el caudal de $Q = 0,105 \text{ Lt}/\text{min}$

La toma de las muestras de realizaron con la ayuda de un vaso de precipitación de 400 ml y se colocaron las aguas residuales en recipientes de vidrio negro sellados herméticamente, siguiendo los protocolos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [32].

3.5.7. Caracterización del lugar de estudio (Curtiduría Artesanal Palahua).

El sector donde se asienta la industria curtiembre presenta una característica peculiar, debido a que se han asentado un conjunto de industrias curtiembres y otras que generan residuos líquidos en un solo sector específico en la Parroquia Totoras. Además, las industrias están asentadas en la parte alta de la quebrada Palahua, y todas las aguas residuales que general las envían al cauce del Rio Pachanlica, esta es una de las causas principales para que las aguas del rio tenga altos índices de contaminación; además que las aguas residuales que son vertidas en el cauce reciben tratamientos básicos y primarios que no reducen los niveles de contaminación a los niveles máximos permisibles por el Ministerio de Medio Ambiente. En la parte alta del lugar donde están ubicadas las industrias existen vertientes naturales de agua dulce, por lo que las industrias del sector han aprovechado el afluente para ocupar esa agua en sus procesos de producción.

3.5.7.1. Ubicación.

La Curtiduría Artesanal Palahua se encuentra ubicada el en Sector de Palahua, perteneciente a la Parroquia Totoras, del Cantón Ambato, de la Provincia de Tungurahua. Además se encuentra ubicada en las coordenadas longitud: 767388.24 m

E y latitud: 9853772.75 m N, en el sistema de coordenadas planas UTM, con proyección cartográfica WGS-84 y en la Zona 17 Sur.



Ilustración 7. Ubicación de la Curtiduría Artesanal Palahua.

Fuente: Google Earth, 2018

3.5.7.2. Instalaciones y equipos.

La industria cuenta con 5 tambores o fulones, de los cuales 1 fulon se emplea exclusivamente para realizar todo el proceso de ribera, otro fulon se usa para realizar el proceso de curtido y post – curtido, 2 fulones se ocupan para concluir con el proceso de tratamiento de las pieles con los procesos de teñido, engrasado y lavado, y finalmente se usa 1 fulon pequeño exclusivamente para realizar ensayos, pruebas de dosificaciones y experimentar con diferentes procesos de tratamientos y porcentajes de químicos empleados para el tratamiento de pieles hasta convertirlas en cuero; esto se realiza con la finalidad de que las aguas residuales que contienen ácidos no se mezclen con las aguas residuales del proceso de curtido, ya que estas aguas son las más contaminadas y al mezclarlas con las aguas residuales del proceso de ribera o teñido se vuelven más tóxicos.

La industria también cuenta con una descarnadora, misma que separa las fibras de colágeno con la carne y tejido graso de las pieles tratadas. Para realizar un proceso

parecido cuentan con una maquina divididora, misma que separa la parte interna de la externa en las pieles que están en la etapa de dividido.

Para los procesos del pos – curtido cuentan con otra máquina exprimidora para eliminar el exceso de agua del proceso de escurrido y exprimido. Y también con una maquina rebajadora, misma que se utiliza para darle el espesor requerido por los clientes al cuero, esta máquina genera viruta o restos de cuero que contienen sales de cromo y deben ser tratadas con cuidado para no causar daños al medio ambiente.

Por último, la curtiembre cuenta con un área de bodega de productos químicos y con un pozo de 1.60 m de altura para el depósito de la queratina generada en el descarnado y dividido con capacidad de 8.75 m³; pero no dispone de un espacio físico para escurrir los residuos sólidos como son la queratina obtenida en el proceso de descarnado y dividido.

3.5.7.3. Descripción de la Infraestructura y funcionamiento.

Las instalaciones de la curtiduría en estudio cuenta con un espacio reducido, debido a su condición de artesanal, motivo por el cual la disposición de desechos sólidos no cuentan con un espacio adecuado para escurrirlos, además que la ubicación de las maquinas empleadas en los procesos industriales no cuentan con espacios adecuados para colocar los residuos que generan.

Cuando las pieles frescas llegan a la curtiduría son dispuestas en un lugar inapropiado, ya que se colocan al aire libre y genera malos olores. Luego se procede a realizar el lavado para eliminar cualquier residuo de sal, sangre y estiércol. Una vez limpiadas las pieles, estas son colocadas en el fulon exclusivo para hacer el proceso de remojo y pelambre. Cuando las pieles son sacadas del proceso de pelambre inicia el descarnado y dividido para separar la carnaza de la piel.

Para iniciar con el proceso de curtido primero se realiza el desencalado y purgado añadiendo compuestos químicos ácidos, a fin de estabilizar las fibras de colágeno y para que las sales de cromo se adhieran más adelante al cuero; un vez terminado este proceso se prosigue con el lavado y luego el piquelado, para lo que se le sigue añadiendo más compuestos químicos para garantizar que el cuero tenga el pH adecuado antes de añadirle las sales de cromo y basificantes; ya cuando se alcanza el pH adecuado se procede a realizar el curtido del cuero con sales de cromo trivalente,

este químico se añade al cuero para garantizar que el mismo no entrara en una etapa de putrefacción.

Para terminar con la transformación de las pieles en cuero se termina con el proceso de post – curtido donde se escurre y exprime el cuero para eliminar el exceso de agua; luego se realiza el rebajado mecánico del cuero para obtener el espesor requerido por el cliente; a continuación se acondiciona al cuero para entrar en la etapa de recurtido realizando el proceso de neutralizado añadiendo un neutralizante para de nuevo llevar al cuero a un pH adecuado para hacer el recurtido; una vez terminado el recurtido se concluye con la etapa final donde se hace el teñido, engrasado, lavado y secado del cuero.

3.5.7.4. Tratamiento primario realizado sobre las aguas residuales producidas.

La curtiembre cuenta con una planta de tratamiento primario para sedimentar los residuos sólidos. La característica principal de la planta es que las aguas son tratadas de acuerdo a las características de las aguas que produce cada proceso, ya que si bien es cierto que la industria cuenta con un fulon exclusivo para el proceso de ribera, el agua generada en este proceso recibe un tratamiento diferenciado antes de ser evacuado al cauce natural, esto se logra con el diseño de la planta de tratamiento primario, ya que el agua producida en el fulon de ribera no se mezcla con las aguas de los procesos de curtido y recurtido. Se debe realizar un control de pendientes adecuadas en la planta de tratamiento, ya que aparentemente esta no está cumpliendo al 100% con su función principal que es sedimentar los residuos sólidos a niveles adecuados.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Recolección de datos.

4.1.1. Determinación y cálculo de caudales de consumo de la curtiduría para procesar el cuero.

Para determinar el caudal de consumo de agua de la Curtiduría Artesanal Palahua para el procesamiento de las pieles, se procedió a tomar lecturas del tanque reservorio, sabiendo que las dimensiones del tanque reservorio son de (4.50x3.50x1.60) m.

Tabla 11. Cálculo de la altura promedio de agua consumida.

LECTURAS TOMADAS DEL TANQUE RESERVORIO DE LA CURTIDURÍA PALAHUA				
N°	FECHA	ALTURA DEL AGUA	ΔH	OBSERVACIONES
		(m.)	(m.)	
1	15/01/2018	1,60		Proceso de REMOJO
2	16/01/2018	1,39	0,21	Proceso de PELAMBRE
3	17/01/2018	1,21	0,18	Proceso de CURTIDO
4	18/01/2018	1,02	0,19	Proceso de NEUTRALIZADO
5	19/01/2018	0,92	0,10	Proceso de RECURTIDO
6	22/01/2018	0,72	0,20	Proceso de RECURTIDO
7	23/01/2018	0,56	0,16	Proceso de TEÑIDO
8	24/01/2018	0,37	0,19	Proceso de TEÑIDO
9	25/01/2018	0,25	0,12	Proceso de REMOJO
10	26/01/2018	0,10	0,15	Proceso de TEÑIDO
ALTURA PROMEDIO DE AGUA CONSUMIDA (m.) =			0,167	

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Si: $\Delta H = 0,167 \text{ m}$.

Entonces tenemos que el volumen de agua promedio consumido cada día será de la siguiente manera:

$$\text{Caudal promedio} = (4,50 * 3,50 * 0,167) \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal promedio} = 2,63 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\bar{Q} = 2,63 \text{ m}^3/\text{día}$$

4.1.2. Cálculo del caudal máximo de consumo de la Curtiduría Artesanal Palahua por aparatos sanitarios.

Tabla 12. Caudales maximos de unidades sanitarias.

CUADRO DE CAUDALES MÁXIMOS DE UNIDADES SANITARIAS							
NIVEL	USO	BLOQUE	TIPO DE APARATO SANITARIO	UNIDAD u	CAUDAL		
					METÓDO BRITÁNICO lt/sg	METÓDO ALEMÁN lt/sg	METÓDO RACIONAL lt/sg
Nv. + 0,00	Curtiduría	Área de procesamiento	INODORO	1	0,315	1,00	0,2
			LAVAMANOS	1	0,126	1,00	0,1
			URINARIO	-	-	-	-
			LAVAPLATOS	-	-	-	-
			DUCHAS	-	-	-	-
			OTRO	1	0,126	1,00	0,25
			PARCIAL POR PISO		0,567	0,436	0,39
FACTOR PARA METODO BRITANICO			TOTAL =	3	0,567	0,44	0,39
FACTOR PARA METODO RACIONAL		0,707					
CAUDAL UNITARIO METODO ALEMÁN		0,252	CAUDAL CORREGIDO =		0,56	0,17	0,28
CONCLUSIÓN: SE ASUME EL CAUDAL MÁXIMO GENERADO POR EL MÉTODO RACIONAL EN VIRTUD DE ESTAR DENTRO DE LOS MÉTODOS SEMI EMPÍRICOS MÁS CERCANOS A LA REALIDAD. DEBE INDICARSE QUE LOS MÉTODOS PROBABILÍSTICOS COMO HUNTER O HUNTER MODIFICADO GENERA DATOS DEMASIADO ALTOS PARA ESTE TIPO DE INFRAESTRUCTURA, POR SU FRECUENCIA DE USO DE LOS MUEBLES SANITARIOS.							

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

De acuerdo con el método racional el Caudal Máximo Diario es el siguiente:

$$Q_{m\acute{a}x D} = 0,28 \text{ Lt/seg}$$

Si:

$$Q_{m\acute{a}x D} = K_1 * Q_{md} \quad \text{Ecuación 6}$$

Entonces:

$$Q_{md} = \frac{Q_{m\acute{a}x D}}{K_1} \quad \text{Ecuación 7}$$

$K_1(1.3 - 1.5) \rightarrow$ Varía según el uso

Para el caso estudiado asumiremos.

$$K_1 = 1.3$$

Esto es debido a que en una curtiduría el uso de los sanitarios no es periódico.

$$Q_{md} = \frac{0,28 \text{ Lt/seg}}{1.3}$$

$$Q_{md} = 0,2154 \text{ Lt/seg}$$

$$Q_{md} = 0,2154 \frac{Lt}{seg} * \frac{1 m^3}{1000 Lt} * \frac{86400 seg}{1 día}$$

$$Q_{md} = 0,2154 Lt/seg$$

4.1.3. Tiempo de retención hidráulica (T.R.H.).

Para determinar el T.R.H. es necesario tomar en cuenta las características del material pomáceo, debido a que sus características tanto físicas como químicas influyen directamente en el proceso de filtrado. La fórmula del cálculo del T.R.H. emplea la siguiente formula:

$$T.R.H. = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

T.R.H. : Tiempo de Retención Hidráulico.

V: Volumen de sedimentos dentro del tanque.

Q: Caudal promedio tratado por el filtro.

Entonces:

$$V = 35,00 lt$$

$$Q = 0,1115 lt/min$$

$$T.R.H. = \frac{35,00 lt}{0,1115 lt/min} = 313,90 min$$

Si: 1 hora = 60 min y 1 día = 24 horas

Tenemos:

$$T.R.H. = 313,90 min = 5,23 horas = 0,22 días$$

4.1.4. Numero de muestras tomadas.

El filtro prototipo a base de piedra pómez funciono por un periodo de 2 semanas, pero las muestras para los análisis se tomaron en los días más representativos para los análisis.

Tabla 13. Cronograma de las muestras tomadas para los análisis.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.							
LUGAR DE LAS MUESTRAS:		Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.							
FECHA:		27/01/2018							
MUESTRAS TOMADAS PARA REALIZAR LOS ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DE LABORATORIO									
N°	FECHA	DQO		DBO ₅		Cr ⁶⁺		pH	
		Sin Tratar	Tratada	Sin Tratar	Tratada	Sin Tratar	Tratada	Sin Tratar	Tratada
		M _o	M _f	M _o	M _f	M _o	M _f	M _o	M _f
1	17/01/2018	x	x	x	x	x	x	-	-
2	18/01/2018	x	x	x	x	x	x	-	-
3	19/01/2018	x	x	x	x	x	x	x	x
4	23/01/2018	x	x	x	x	x	x	x	x
5	24/01/2018	x	x	x	x	x	x	x	x
6	25/01/2018	x	x	x	x	x	x	x	x
OBSERVACIÓN: Los días 17 y 18 de enero no se realizaron los análisis de laboratorio del pH, debido a que se puede considerar que los resultados son representativos con los análisis realizados el resto de días; además de que este parámetro no es demasiado relevante en el presente estudio, debido a que en el proceso de tratamiento del cuero el pH se lo modifica varias veces depende el proceso que se esta llevando a cabo.									

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

En total se tomaron 12 muestras, mismas que corresponden a 6 muestras sin tratar o muestra inicial (M_o) y 6 muestras tratadas o muestra final (M_f).

Las muestras tomadas se realizaron de la manera ya detallada, debido a que en los procesos que se llevan a cabo en una curtiduría, todos los días se realizan procesos diferentes, motivo por el cual las aguas residuales generadas son diferentes a diario; por lo detallado es necesario conocer los niveles de contaminación real de las aguas residuales caracterizándolas todos los días.

4.1.5. Límites de descarga de las aguas residuales de curtiembre al sistema de alcantarillado público.

Los parámetros considerados para el presente estudio, son los valores más relevantes en el caso del proceso de tratamiento del cuero.

Tabla 14. Límites de descarga al alcantarillado público.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
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
Potencial de hidrogeno	pH		6 - 9

Fuente: Tabla 9 del Anexo 1 del Libro VI de la Calidad Ambiental [33].

4.2. Análisis de resultados.

Los análisis realizados para determinar los niveles de contaminación de las aguas residuales generadas en una curtiduría; se analizaron cada parámetro de calidad del agua, mismos que sirvieron para determinar el grado eficiencia de la piedra pómez, al ser usada como material filtrante en el tratamiento de las aguas residuales de una curtiduría. De los resultados obtenidos se ha desglosado de la siguiente manera para una mejor interpretación de los resultados arrojados.

4.2.1. Análisis de los resultados obtenidos de las muestras tomadas.

Para determinar el grado o porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro, se procedió a analizar cada día, el nivel de eficiencia que tiene el prototipo de bio-filtro. Para conocer la efectividad de la piedra pómez para tratar cada parámetro estudiado, se realizó un análisis global de los cuatro parámetros estudiados de acuerdo con las siguientes tablas.

Tabla 15. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el primer día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 17/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL PRIMER DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANALIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	CURTIDO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	7355	4415	2940	39,97	500
DBO ₅	CURTIDO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	3134	1822	1312	41,86	250
Cr ⁶⁺	CURTIDO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	2,55	1,90	0,65	25,49	0,50
pH	CURTIDO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	-	-	-	-	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Tabla 16. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el segundo día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 18/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL SEGUNDO DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	NEUTRALIZADO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	3630	3477	153	4,21	500
DBO ₅	NEUTRALIZADO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	1568	1495	73	4,66	250
Cr ⁶⁺	NEUTRALIZADO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	1,30	0,25	1,05	80,77	0,50
pH	NEUTRALIZADO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	-	-	-	-	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Tabla 17. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el tercer día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 19/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL TERCER DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	RECURTIDO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	7040	3600	3440	48,86	500
DBO ₅	RECURTIDO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	2864	1483	1381	48,22	250
Cr ⁶⁺	RECURTIDO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	3,50	1,00	2,5	71,43	0,50
pH	RECURTIDO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	3,86	4,33	-0,47	-12,18	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Tabla 18. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el cuarto día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 23/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL CUARTO DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	TEÑIDO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	2830	1380	1450	51,24	500
DBO ₅	TEÑIDO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	1152	570	582	50,52	250
Cr ⁶⁺	TEÑIDO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	2,30	1,60	0,7	30,43	0,50
pH	TEÑIDO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	5,52	5,14	0,38	6,88	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Tabla 19. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el quinto día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 24/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL QUINTO DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	TEÑIDO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	4100	3195	905	22,07	500
DBO ₅	TEÑIDO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	1804	1342	462	25,61	250
Cr ⁶⁺	TEÑIDO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	0,65	0,37	0,28	43,08	0,50
pH	TEÑIDO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	3,71	3,94	-0,23	-6,20	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Tabla 20. Porcentaje de reducción de contaminantes por parámetro en el sexto día de filtrado.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN									
REALIZADO POR: Cristian Vinicio Siza Altashig.									
ORIGEN DE LAS MUESTRAS: Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.									
FECHA DE ANÁLISIS: 25/01/2018									
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS MUESTRAS DEL SEXTO DÍA DE FILTRADO									
PARÁMETRO	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	UNIDADES	MÉTODO / PROCEDIMIENTO	ERROR U(K=2)	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	PORCENTAJE %	LÍMITE MÁXIMO
					Sin Tratar M_o	Tratada M_f			
DQO	REMOJO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	± 10%	4885	4420	465	9,52	500
DBO ₅	REMOJO	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	N/A	2032	1914	118	5,81	250
Cr ⁶⁺	REMOJO	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	N/A	2,29	0,49	1,8	78,60	0,50
pH	REMOJO	-	MÉTODO ELECTRODO PEE-01	± 10%	10,26	8,00	2,26	22,03	6 a 9
Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH					Laboratorio de Química de la FICM - UTA				
OBSERVACIONES:									
1. La toma de las muestras se realizaron de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 [28].									
2. Los tres primeros análisis se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y la determinación del pH se realizó en el Laboratorio de Química de la FICM - UTA									

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH y Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

4.2.2. Análisis de los resultados por parámetros.

El análisis de los resultados por cada parámetro, ayudara a determinar el grado de eficiencia del filtro por cada parámetro analizado, además de determinar los niveles de concentración de contaminante de cada parámetro analizado, antes y después de recibir tratamiento de bio-filtración. Con este análisis podremos conocer el nivel de descontaminación y conocer si con el estudio planteado logramos reducir los contaminantes por debajo de los niveles establecidos por la norma respectiva.

4.2.3. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).

El DQO es el parámetro que tiene mayor concentración de residuos orgánicos en relación al DBO₅, por lo mismo se entiende que los valores determinados por medio de los análisis son los valores más elevados.

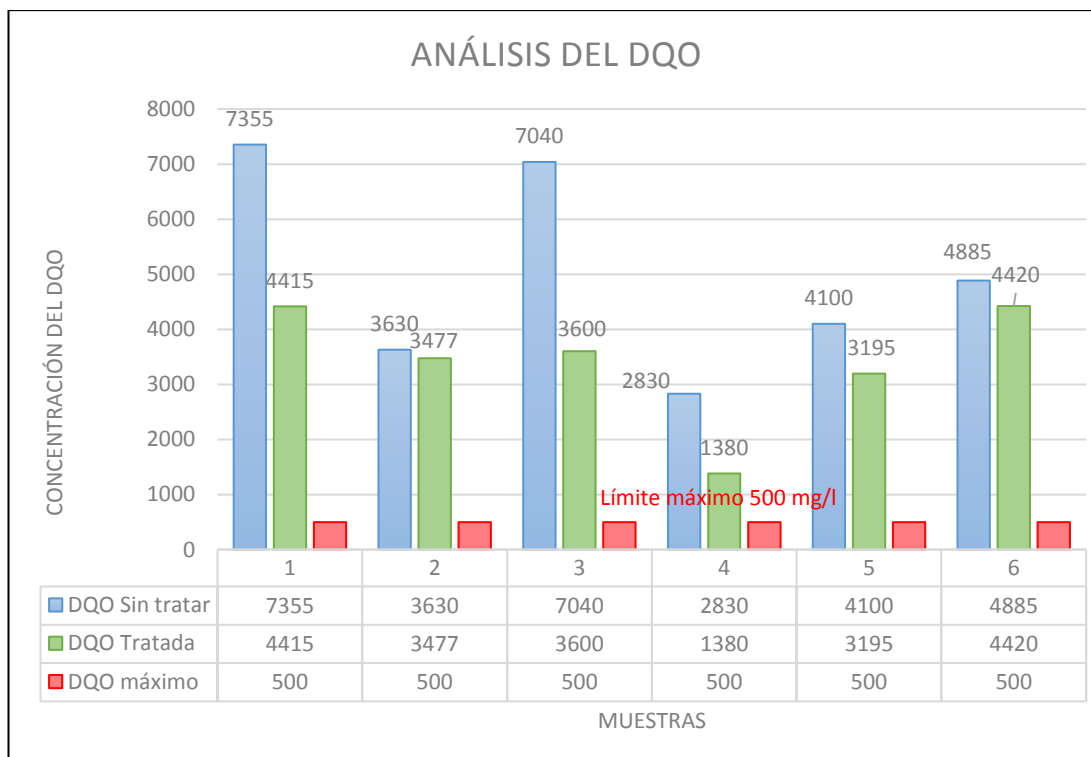
Tabla 21. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del DQO.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN						
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.				
ORIGEN DE LAS MUESTRAS:		Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.				
PARÁMETRO ANÁLIZADO:		DQO			UNIDAD: mg/l	
MÉTODO UTILIZADO:		STANDARD METHODS 5220 - D mod			ERROR: ± 10%	
PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTE DEL PARÁMETRO DQO						
N°	FECHA	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	EFICIENCIA %
			Sin Tratar M_o	Tratada M_f		
1	17/01/2018	CURTIDO	7355	4415	2940	39,97
2	18/01/2018	NEUTRALIZADO	3630	3477	153	4,21
3	19/01/2018	RECURTIDO	7040	3600	3440	48,86
4	23/01/2018	TEÑIDO	2830	1380	1450	51,24
5	24/01/2018	TEÑIDO	4100	3195	905	22,07
6	25/01/2018	REMOJO	4885	4420	465	9,52
Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH						

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Gráfico 4. Concentración del DQO Sin tratar y Tratada.



Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

De los resultados de los análisis de las concentraciones del DQO se observa que los valores más significativos en el estudio corresponden a los días en los que se realizaron

los procesos de curtido y recurtido del cuero; y por otro lado, los valores más bajos de DQO corresponden a los días en los que se realiza el proceso de teñido.

De los resultados obtenidos se observa que el bio-filtro redujo de manera considerable los niveles de concentración de DQO, pero los valores alcanzados no son suficientes para llegar al límite máximo permitido por la normativa ambiental, misma que es de 500 mg/l.

Se puede decir que la piedra pómez es un material biodegradable adecuado para reducir los niveles de concentración de DQO en aguas residuales, siempre y cuando las aguas que requieren de tratamiento no tengan cantidades elevadas de DQO.

4.2.4. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DBO₅).

Tabla 22. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del DBO₅.

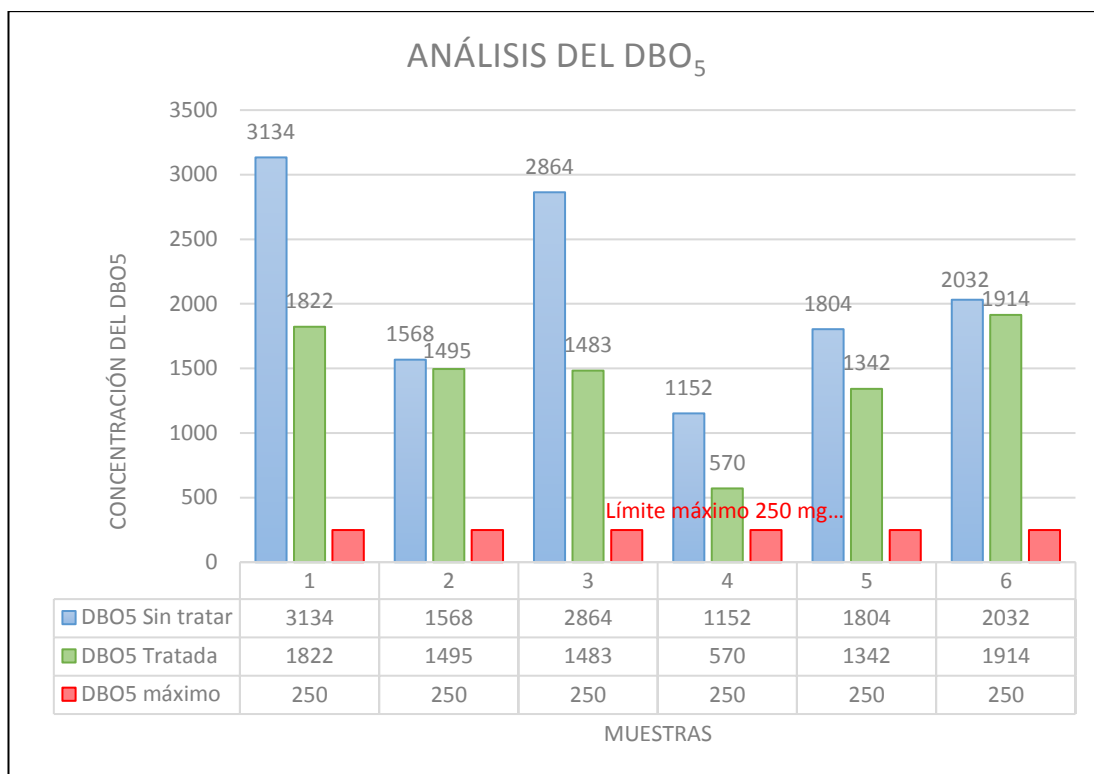
UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN						
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.				
ORIGEN DE LAS MUESTRAS:		Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.				
PARÁMETRO ANÁLIZADO:		DBO ₅			UNIDAD: mg O ₂ /l	
MÉTODO UTILIZADO:		STANDARD METHODS 5210 - B			ERROR: N/A	
PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTE DEL PARÁMETRO DBO ₅						
N°	FECHA	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM (M _o -M _f)	EFICIENCIA %
			Sin Tratar M _o	Tratada M _f		
1	17/01/2018	CURTIDO	3134	1822	1312	41,86
2	18/01/2018	NEUTRALIZADO	1568	1495	73	4,66
3	19/01/2018	RECURTIDO	2864	1483	1381	48,22
4	23/01/2018	TEÑIDO	1152	570	582	50,52
5	24/01/2018	TEÑIDO	1804	1342	462	25,61
6	25/01/2018	REMOJO	2032	1914	118	5,81

Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Gráfico 5. Concentración del DBO₅ Sin tratar y Tratada.



Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Del resultado del análisis de las concentraciones del DBO₅ se observa que los valores más significativos en el estudio corresponden a los días en los que se realizaron los procesos de curtido y recurtido del cuero; y por otro lado, los valores más bajos de DBO₅ corresponden a los días en los que se realiza el proceso de teñido.

De los resultados obtenidos se observa que el bio-filtro redujo de manera considerable los niveles de concentración de DBO₅, pero los valores alcanzados no son suficientes para llegar al límite máximo permitido por la normativa ambiental, misma que es de 250 mg O₂/l.

Se puede decir que la piedra pómez es un material biodegradable adecuado para reducir los niveles de concentración de DBO₅ en aguas residuales, siempre y cuando las aguas que requieren de tratamiento no tengan cantidades elevadas de DBO₅.

4.2.5. Resultados del Cromo Hexavalente (Cr⁶⁺).

En el análisis de las aguas residuales provenientes de curtiembres, los resultados del Cr⁶⁺ es el más importante, debido a que este es el parámetro que más contamina el

medio ambiente por la alta concentración de tóxicos dispersos en el agua residual industrial de una curtiduría.

Tabla 23. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del Cr^{6+} .

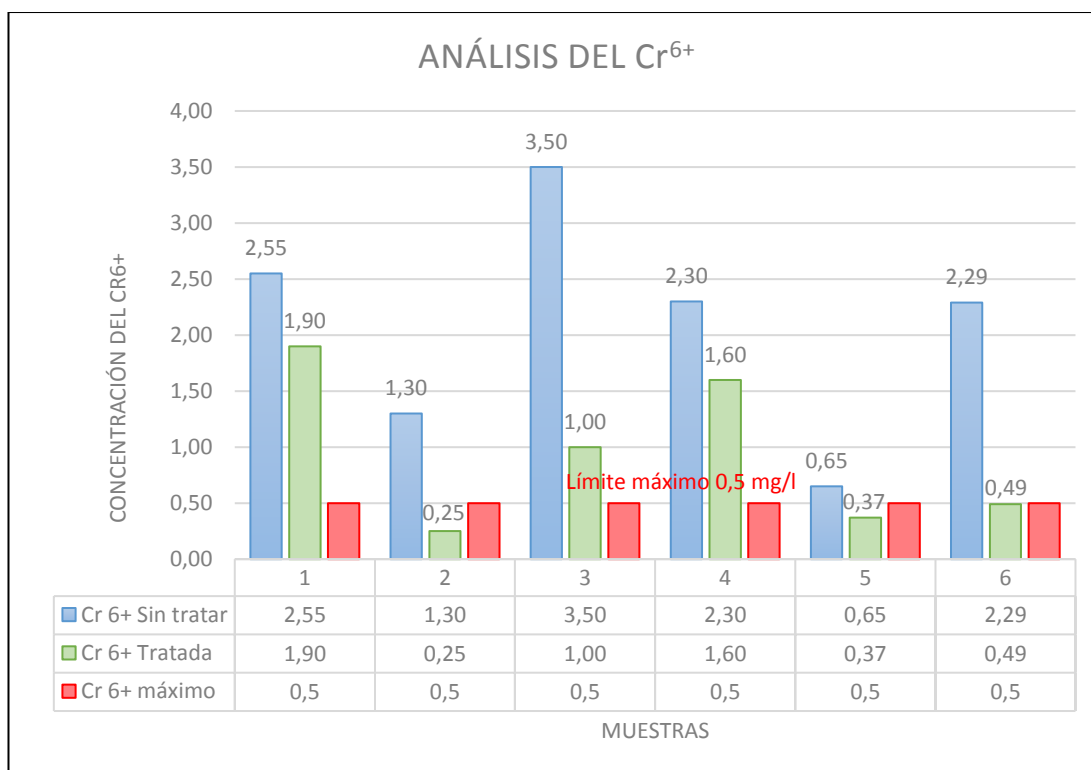
UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN						
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.				
ORIGEN DE LAS MUESTRAS:		Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.				
PARÁMETRO ANÁLIZADO:		Cr^{6+}			UNIDAD:	mg/l
MÉTODO UTILIZADO:		STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B			ERROR:	N/A
PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTE DEL PARÁMETRO Cr^{6+}						
N°	FECHA	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	EFICIENCIA %
			Sin Tratar M_o	Tratada M_f		
1	17/01/2018	CURTIDO	2,55	1,90	0,65	25,49
2	18/01/2018	NEUTRALIZADO	1,30	0,25	1,05	80,77
3	19/01/2018	RECURTIDO	3,50	1,00	2,5	71,43
4	23/01/2018	TEÑIDO	2,30	1,60	0,7	30,43
5	24/01/2018	TEÑIDO	0,65	0,37	0,28	43,08
6	25/01/2018	REMOJO	2,29	0,49	1,8	78,60

Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH

Fuente: Informe de Análisis del Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Gráfico 6. Concentración del Cr^{6+} Sin tratar y Tratada.



Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

De los resultados de los análisis de las concentraciones del Cr^{6+} se observa que los valores más significativos en el estudio corresponden a los días en los que se realizaron los procesos de curtido y recurtido del cuero; y por otro lado, los valores más bajos de Cr^{6+} corresponden a los días en los que se realizaron el proceso de neutralizado y teñido. Los valores determinados son lógicos, debido a que en el proceso de transformación de las pieles de animales en cuero, las etapas donde se ocupa cantidades importantes de Cr^{3+} son en la etapa de curtido y recurtido.

De los resultados obtenidos se observa que el bio-filtro redujo significativamente los niveles de concentración de Cr^{6+} , alcanzando a reducir el Cr^{6+} en tres ocasiones y sus valores fueron por debajo de la normativa ambiental, además de que en dos días redujo porcentajes muy altos de concentración de Cr^{6+} . El análisis detallado se lo realizó tomando en cuenta que el bio-filtro funcionó por el transcurso de 2 semanas en la curtiduría estudiada.

Se puede decir que la piedra pómez es un material biodegradable adecuado para reducir los niveles de concentración de Cr^{6+} en aguas residuales, siempre y cuando las aguas que requieren de tratamiento no contengan cantidades elevadas de Cr^{6+} . En general, si las concentraciones de Cr^{6+} son demasiado elevadas la piedra pómez podrá reducir porcentajes muy altos de concentración de Cr^{6+} , pero no alcanzara el límite máximo permisible de 0,5 mg/l de agua residual.

4.2.6. Resultados del Potencial Hidrogeno (pH).

El estudio del comportamiento del pH no es demasiado relevante en el caso del análisis de las aguas residuales provenientes de una curtiembre, debido a que este parámetro se manipula varias veces en el proceso para poder realizar varias etapas de tratamiento del cuero. Por este motivo se analizó solamente cuatro días el comportamiento de este parámetro.

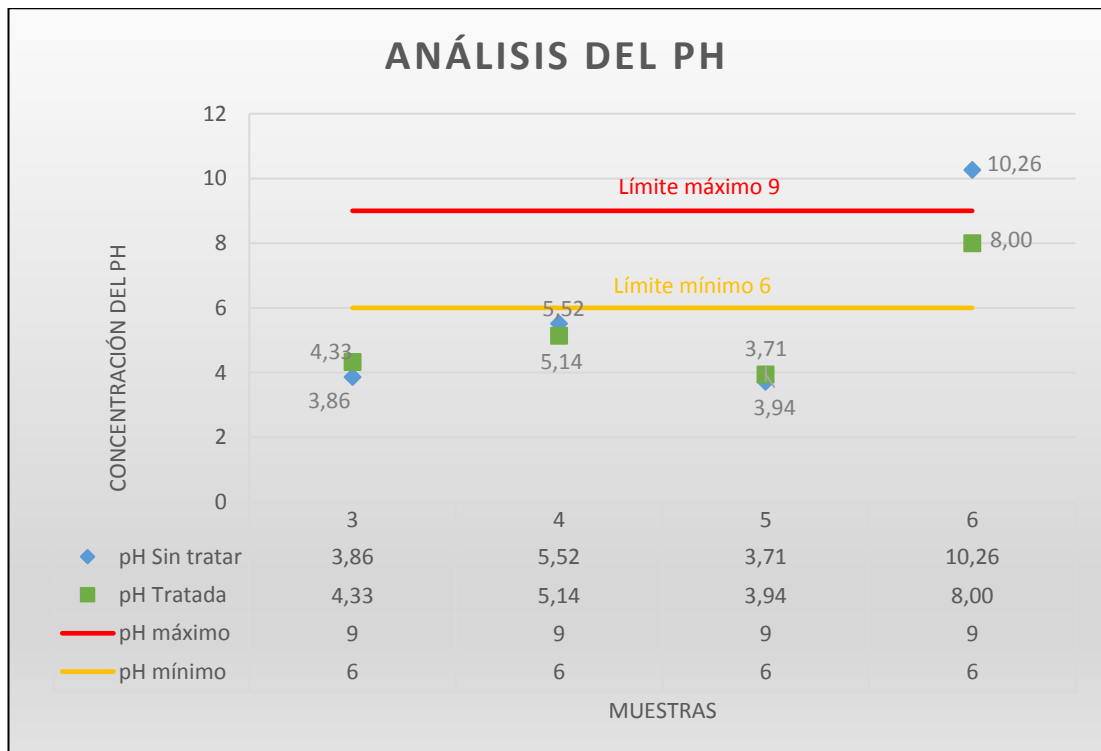
Tabla 24. Análisis del porcentaje de reducción de contaminante del pH.

UNIDAD DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN						
REALIZADO POR:		Cristian Vinicio Siza Altashig.				
ORIGEN DE LAS MUESTRAS:		Curtiduría Artesanal Palahua de la Parroquia Totoras del Cantón Ambato.				
PARÁMETRO ANÁLIZADO:		pH			UNIDAD:	
MÉTODO UTILIZADO:		MÉTODO ELECTRODO PEE-01			ERROR:	± 10%
PORCENTAJES DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTE DEL PARÁMETRO pH						
N°	FECHA	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO	MUESTRAS ANÁLIZADAS		ΔM ($M_o - M_f$)	EFICIENCIA %
			Sin Tratar M_o	Tratada M_f		
1	17/01/2018	CURTIDO	-	-	-	-
2	18/01/2018	NEUTRALIZADO	-	-	-	-
3	19/01/2018	RECURTIDO	3,86	4,33	0,47	12,18
4	23/01/2018	TEÑIDO	5,52	5,14	0,38	6,88
5	24/01/2018	TEÑIDO	3,71	3,94	0,23	6,20
6	25/01/2018	REMOJO	10,26	8,00	2,26	22,03
Laboratorio de Química de la FICM de la UTA						

Fuente: Laboratorio de Química de la FICM - UTA.

Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Gráfico 7. Concentración del pH Sin tratar y Tratada.



Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Debido a la naturaleza del proceso de tratamiento del cuero, es común observar que los valores del pH varían abruptamente en cada etapa del proceso, esto se debe a que

como se manifestó anteriormente, este parámetro se lo manipula en varias ocasiones para poder alcanzar un nivel adecuado de medio ácido o medio básico, conforme avanza el proceso de tratamiento del cuero, es decir que en todo el proceso el agua con la que se trata las pieles varía de ácida a básica.

De los hallazgos encontrados, podemos decir que la piedra pómez no es un material biodegradable adecuado para tratar el parámetro del pH en las aguas residuales de curtidurías, esto es debido a que con los análisis realizados encontramos que la piedra pómez reduce la concentración de este parámetro en niveles muy bajos y además que por las características propias de las aguas, estos valores fluctúan significativamente.

4.2.7. Análisis de la Eficiencia por parámetro del Bio-filtro.

Para el estudio de la eficiencia de la piedra pómez en el filtrado de las aguas residuales generadas en una curtiembre, es necesario identificar la tendencia que tiene la eficiencia para tratar cada parámetro de calidad del agua filtrada.

La eficiencia se determinará de acuerdo con la siguiente fórmula matemática:

$$E = \frac{M_o - M_f}{M_o} * 100\% \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

E: Eficiencia.

M_o: Resultado del análisis de parámetro de la muestra inicial.

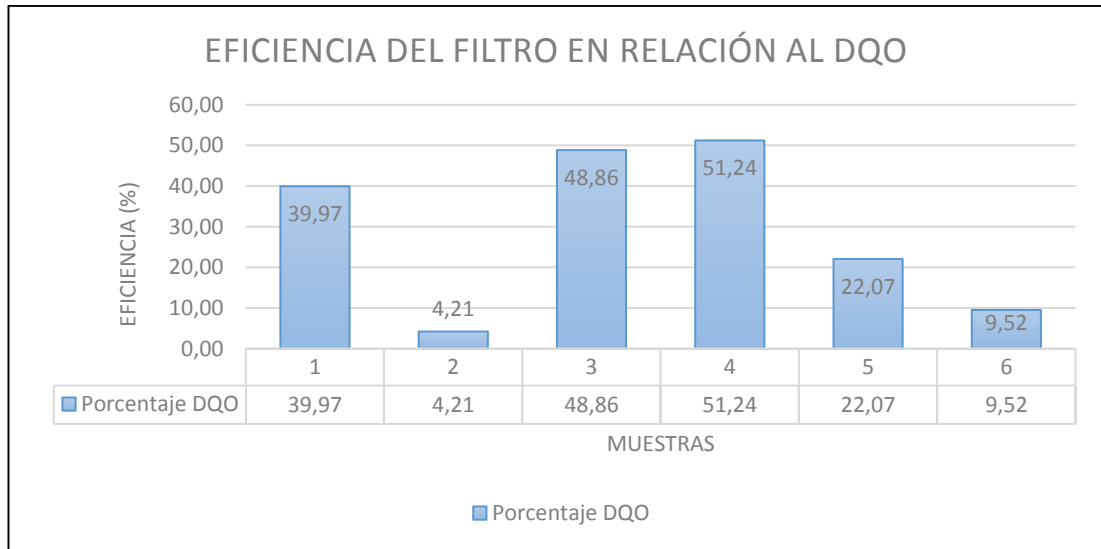
M_f: Resultado del análisis de parámetro de la muestra final.

La fórmula detallada será aplicada para determinar la eficiencia del filtro cada día en el que se tomaron las muestras sin tratar (M_o) y las muestras tratadas (M_f).

El resultado del análisis de la eficiencia del filtro en relación a cada parámetro analizado, se detalla de acuerdo a los siguientes gráficos:

4.2.7.1. Análisis de la eficiencia del bio-filtro en relación al DQO.

Gráfico 8. Eficiencia del bio-filtro en relación al DQO.

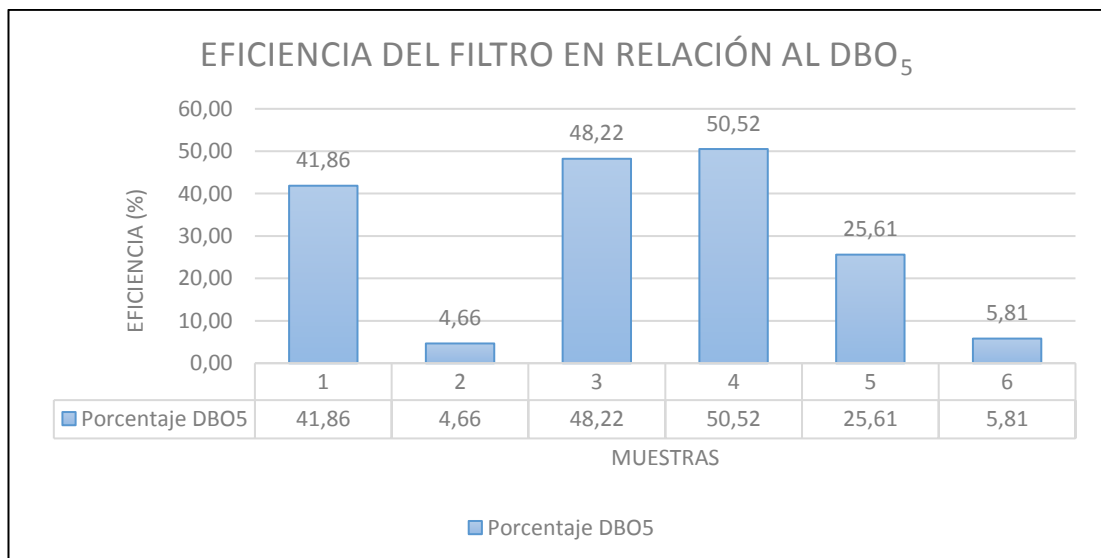


Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

La eficiencia del bio-filtro con relación al parámetro DQO tiende a decrecer en el transcurso de 2 semanas de tratar periódicamente las aguas residuales de curtidurías, pero dadas las condiciones y niveles de concentración del parámetro mencionado la eficiencia encontrada no alcanza para cumplir con los niveles máximos establecidos por la normativa ambiental, es decir que, se requiere de un material más eficiente para tratar este tipo de aguas, para reducir la concentración del DQO.

4.2.7.2. Análisis de la eficiencia del bio-filtro en relación al DBO₅.

Gráfico 9. Eficiencia del bio-filtro en relación al DBO₅.

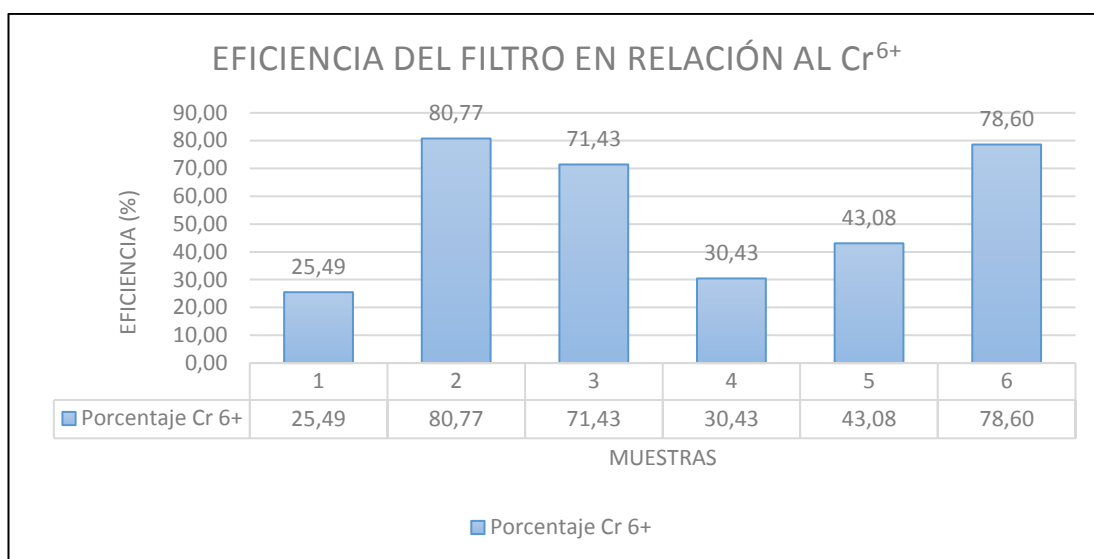


Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

La eficiencia del bio-filtro con relación al parámetro DBO_5 tiende a decrecer en el transcurso de 2 semanas de tratar periódicamente las aguas residuales de una curtiduría, pero dadas las condiciones y niveles de concentración del parámetro mencionado la eficiencia encontrada no alcanza para cumplir con los niveles máximos establecidos por la normativa ambiental, es decir que, se requiere de un material más eficiente para tratar este tipo de aguas, a fin de reducir la concentración del DBO_5 .

4.2.7.3. Análisis de la eficiencia del bio-filtro en relación al Cr^{6+} .

Gráfico 10. Eficiencia del bio-filtro en relación al Cr^{6+} .

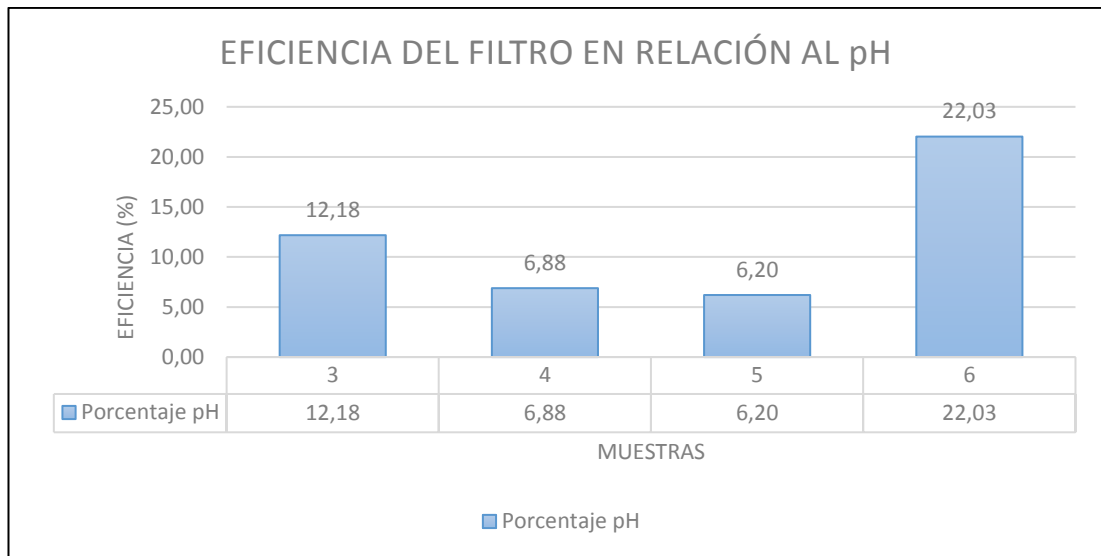


Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

La eficiencia del bio-filtro con relación al parámetro Cr^{6+} es el único donde la eficiencia tiende a incrementar en el transcurso de 2 semanas, por lo que se deduce que la piedra pómez podrá ser utilizada por un periodo más prolongado de tiempo antes de que la calidad del filtro inicie a deteriorarse en la descontaminación del Cr^{6+} , con los valores analizados se determinó que la piedra pómez es un material adecuado para tratar los niveles de concentración de Cr^{6+} , pero no ayuda significativamente para tratar el resto de parámetros, además de acotar que cuando los niveles de contaminación producida por el Cr^{6+} en las aguas residuales son demasiado altos, la eficiencia es muy alta, pero debido a la excesiva concentración del contaminante, la descontaminación no alcanza a los límites mínimos establecidos por la normativa ambiental.

4.2.7.4. Análisis de la eficiencia del bio-filtro en relación al pH.

Gráfico 11. Eficiencia del bio-filtro en relación al pH.



Elaborado por: Cristian Siza, 2018.

Para el caso del análisis de la eficiencia del bio-filtro en el caso del pH, este no es demasiado relevante, ya que, por las fluctuaciones dispersas del pH en el proceso de tratamiento del cuero, esto hace que el análisis no sea objetivo, debido a que los niveles de eficiencia son demasiado bajos y además a que este parámetro varía de acuerdo al proceso en el que se encuentra el tratamiento del cuero, es decir que, en el caso de ciertos procesos se tendrá aguas residuales en medios ácidos, debido a la presencia de sulfatos y en otros se tendrá aguas residuales en medios básicos, debido a la presencia de basificantes orgánicos usados en el proceso.

4.2.8. Discusión y Resultados.

Del estudio realizado para analizar el comportamiento de la piedra pómez como medio filtrante en el tratamiento de las aguas residuales de una curtiduría se determinó que el comportamiento de los parámetros del DQO y DBO₅ son muy parecidos, con la diferencia de que los niveles de concentración del DBO₅ representan aproximadamente el 50% de los valores del DQO. Además de que estos dos parámetros son los indicadores más elevados que generan las aguas residuales de una curtiduría. Los resultados en términos porcentuales más altos en los que se redujo la concentración de estos parámetros son del 51.24% para el DQO y el 50,52% para el DBO₅, al utilizar el 40% de piedra pómez que pasa el tamiz 1/2” pero retiene el tamiz 3/8”, el 40% de

material que retiene el tamiz #4 o 4,76 mm y el 20% de material pomáceo que retiene el tamiz #8 o 2,36 mm; a pesar de tener una eficiencia significativa, esta no alcanza para estar por debajo del límite máximo permisible; es posible mejorar estos resultados variando los porcentajes del material antes mencionado; ya que, de acuerdo con los hallazgos de Miguel Ángel Segura Castruita y otros [12] indica que los porcentajes de piedra pómez puede variar de acuerdo al agua residual a tratar. Pero al comparar los resultados obtenidos con los resultados de la investigación de Eduardo Mayorga Llerena y otros [11] donde toma la piedra pómez como medio filtrante en el tratamiento de aguas residuales para riego, tenemos que la piedra pómez arroja mejores resultados para tratar las aguas residuales de curtidurías; ya que, al tratar aguas residuales para riego se obtuvo una remoción porcentual del 16% y 29,2% en relación al DQO.

Al tratar el Cr^{6+} , el prototipo de bio-filtro a base de piedra pómez funciona adecuadamente y con los resultados obtenidos, se puede deducir que se puede prolongar el periodo de vida útil de la piedra pómez para tratar aguas residuales que contengan Cr^{6+} , pero al tratar los niveles de concentración de contaminantes de otros parámetros, el comportamiento de la piedra pómez no es demasiado significativo. Los porcentajes de eficiencia de mayor relevancia del presente trabajo experimental son del 80,77% y 71% al emplear un 40% de piedra pómez que pasa el tamiz $\frac{1}{2}$ " pero retiene el tamiz $\frac{3}{8}$ ", el 40% de material que retiene el tamiz #4 o 4,76 mm y el 20% de material pomáceo que retiene el tamiz #8 o 2,36 mm. Los resultados obtenidos al ser comparados con otro tipo de tratamientos de aguas residuales provenientes de curtidurías; se concluye que, para tratar el Cr^{6+} en dichas aguas contaminadas, el uso de la piedra pómez es adecuado; ya que en el estudio de Biorremediación del cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp [7], se encontró que los niveles de descontaminación del Cr^{6+} en las aguas residuales de curtiduría son demasiado bajos, ya que redujo solamente un 13,51% de dicho contaminante. Y con los resultados obtenidos con el trabajo experimental realizado, se encontraron resultados alentadores; ya que, los porcentajes de remoción del Cr^{6+} fueron altos en comparación con estudios donde analizan el mismo parámetro. Además, para mejorar los resultados obtenidos, es necesario realizar un estudio de bio-filtración con piedra pómez, variando los porcentajes de material para elaborar el prototipo de bio-filtro.

El presente estudio demuestra que para tratar las aguas contaminadas generadas en una curtiembre, la utilización de la piedra pómez como medio filtrante es adecuado; ya que este material reduce significativamente los niveles de concentración de contaminantes, pero para optimizar su funcionamiento y alcanzar resultados por debajo de los límites establecidos en la normativa ambiental, se puede adicionar a la piedra pómez otro tipo de material que ayude a reducir de manera eficiente los parámetros de DQO y DBO5, ya que estos parámetros son demasiado elevados; y al ser tratados solamente con piedra pómez no alcanzan los límites máximos establecidos en la norma. Por lo tanto, el presente trabajo experimental abre camino para que se experimente con diferentes combinaciones de materiales biodegradables, ya que ciertos materiales tienen afinidad para descontaminar determinados parámetros de las aguas contaminadas de una curtiembre en relación a otros ya estudiados.

4.3. Verificación de la hipótesis.

La utilización de la piedra pómez para optimizar el tratamiento de las aguas residuales de una curtiduría es adecuada, ya que a través del trabajo experimental desarrollado, se ha demostrado que los niveles de concentración de contaminantes en las aguas residuales de curtiembres se reducen significativamente, tal como se demuestra en las tablas explicativas elaboradas para la presentación de los resultados obtenidos; pero es importante enfatizar que los resultados obtenidos no alcanzan los límites máximos permisibles por la normativa ambiental, esto es debido a que los niveles de contaminación de las aguas residuales de curtiembres son demasiado elevados. Para mejorar los resultados obtenidos, es necesario analizar la posibilidad de hacer una combinación de materiales biodegradables para lograr alcanzar los límites establecidos por la norma, ya que se debe aprovechar las características físicas y químicas de la piedra pómez para absorber contaminantes de aguas residuales; y también se debe aprovechar las propiedades que tienen otros materiales para descontaminar cierto parámetros que la piedra pómez no puede tratar.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- ✓ Una vez realizado el trabajo experimental, se determinó que la Curtiduría Artesanal Palahua, cuenta con todos los equipos necesarios para realizar todo el proceso de tratamiento de las pieles hasta convertirlas en cuero; tales como son los 5 fulones o tambores usados para las diferentes etapas del procesamiento; también cuenta con una maquina descarnadora para poder separar las fibras de colágeno con la carne y tejido grasoso, además dispone de otro aparato divisor para separar la parte externa y la interna de las pieles, otros artefactos son la exprimidora y la rebajadora, mismas que sirven para eliminar el exceso de agua de las pieles y para darle el espesor requerido al cuero; la infraestructura con la que dispone la curtiduría es la necesaria, pero no la adecuada; ya que por el espacio reducido todas las zonas de trabajo no cuentan con las áreas adecuadas para la disposición de los residuos generados, para la recepción de la materia prima y para la circulación del personal, pero en síntesis cuentan con una zona de fulones, una de máquinas, otra de terminado, una de almacenado, escurrido y secado, un área de bodega de productos químicos, una de servicios higiénicos, un pozo para la disposición de queratina; finalmente cuenta con un sistema de tratamiento primario para las aguas residuales generadas por la curtiembre.
- ✓ Además se corroboró que el agua que consume la curtiduría corresponde a los niveles normales establecidos por las diferentes Cámaras del Calzado, Guías Técnicas de Producción de Curtiembres y estudios realizados en torno al tema; es decir que el caudal calculado corresponde a $2,63 \text{ m}^3$ cada día, pero el caudal medio diario es de $Q_{md} = 0,2154 \text{ Lt}/\text{seg}$. También se identificó que el caudal de los residuos líquidos que produce la curtiembre no es constante, es decir que los efluentes generados son vertidos a determinadas horas, una vez culminado el proceso que se le esté dando al cuero, motivo por el cual las aguas residuales que se producen en el proceso se vierten al alcantarillado solamente a determinadas horas en el transcurso del día.
- ✓ Se monitoreó los parámetros de calidad del agua residual producidos por la curtiduría estudiada; y se determinó que los valores máximos y mínimos de las

muestras tratadas y sin tratar en cada parámetro analizado son para **DQO** Máx sin tratar = 7355 mg/l y **DQO** Máx tratada = 4415 mg/l, **DQO** Min sin tratar = 2830 mg/l y **DQO** Min tratada = 1380 mg/l; **DBO₅** Máx sin tratar = 3134 mg O₂/l y **DBO₅** Máx tratada = 1822 mg O₂/l, **DBO₅** Min sin tratar = 1152 mg O₂/l y **DBO₅** Min tratada = 570 mg O₂/l; **Cr⁶⁺** Máx sin tratar = 2.55 mg/l y **Cr⁶⁺** Máx tratada = 1.90 mg/l, **Cr⁶⁺** Min sin tratar = 0.65 mg/l y **Cr⁶⁺** Min tratada = 0.37 mg/l; y, **pH** Máx sin tratar = 10.26 y **pH** Máx tratada = 8.00, **pH** Min sin tratar = 3.71 y **pH** Min tratada = 3.94; con los resultados obtenidos se demostró que los niveles de contaminación que produce la industria son demasiado elevados al compararlos con la normativa ambiental; y aun tomando en cuenta que la planta de procesamiento cuenta con un sistema de tratamiento primario para las aguas residuales que producen, esto no es suficiente para bajar los niveles de contaminación de los parámetros analizados al menos hasta los valores permitidos por la normativa ambiental.

- ✓ Se concluyó que la piedra pómez puede ser utilizada como material filtrante para mejorar el tratamiento de las aguas residuales que produce una curtiduría; ya que, a través del trabajo experimental planteado, se demostró que al darle tratamiento a estos efluentes con la piedra pómez se alcanza una eficiencia para el **DQO** hasta un 51.24 %, para el **DBO₅** hasta un 50.52 %, para el **Cr⁶⁺** hasta un 80.77 %, y para el **pH** hasta un 22.03 %, por lo expuesto, los parámetros de calidad mejoran considerablemente; pero es importante acotar que los niveles de contaminación de los efluentes líquidos de una curtiembre son demasiado altos, debido a la utilización de productos químicos altamente contaminantes en el proceso, por lo que los niveles de descontaminación alcanzados no son suficientes para estar por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental.
- ✓ Por lo expuesto, para futuros tratamientos de las aguas residuales de curtiembres, se deberá considerar las excelentes características físicas y químicas de la piedra pómez; ya que, la eficiencia para absorber el cromo hexavalente de aguas residuales es excelente, pero se debe tomar en cuenta que el tratamiento usando únicamente piedra pómez no es suficiente para alcanzar los límites establecidos por la norma, por lo que será necesario analizar si es adecuado combinar dos materiales filtrantes para mejorar la eficiencia del bio - filtro.

5.2. Recomendaciones.

- ✓ Se debe considerar que, para mejorar los espacios de trabajo y producción de la curtiduría, será necesario analizar una ampliación de las zonas de trabajo, a fin de contar con espacios adecuados para la disposición de los residuos sólidos y líquidos de la curtiduría, ya que estos residuos generan contaminación al no ser tratadas de forma técnica y por no contar con los espacios adecuados para su disposición.
- ✓ Realizar un mantenimiento periódico del sistema de tratamiento primario, las tuberías de conducción del agua y los equipos mecánicos, ya que estos chequeos ayudaran a optimizar el consumo diario del agua; ya que se debe considerar que debido al uso de sulfatos y sales minerales para tratar las pieles, la corrosión y deterioro de las tuberías y equipos metálicos es muy acelerada.
- ✓ Para mejorar la eficiencia del bio – filtro, se deberá analizar, corroborar y comparar los resultados obtenidos con otros biomateriales a fin de que ayuden a mejorar el proceso de Bio – filtración de las aguas residuales de una curtiduría, ya que con los resultados hallados en el presente trabajo experimental, se recomienda combinar la piedra pómez con otro bio – material que tenga afinidad para el tratamiento de las aguas residuales de una curtiembre.
- ✓ Se recomienda considerar que los efluentes que produce una curtiduría no son homogéneos; ya que, en cada etapa del proceso se producen diferentes residuos líquidos, es decir que, en ciertas etapas del proceso se producen efluentes más densos, en comparación con el resto de procesos, por lo tanto, para el caudal de entrada hacia el filtro debe considerarse esta particularidad de las aguas residuales y para considerar las condiciones reales de funcionamiento del filtro es recomendable realizar todos los días un control del caudal real de entrada hacia el filtro con la ayuda de un cronometro y un vaso de precipitación.
- ✓ Para garantizar que los resultados de los análisis en los parámetros de calidad del agua en el laboratorio sean efectivos, se debe realizar los protocolos de cadena de custodia de muestras establecidos por la norma INEN; ya que, una buena toma de muestras ayuda a obtener resultados apegados a la realidad y por ende ayudara a mejorar los resultados.

MATERIAL DE REFERENCIA.

BIBLIOGRAFÍA.

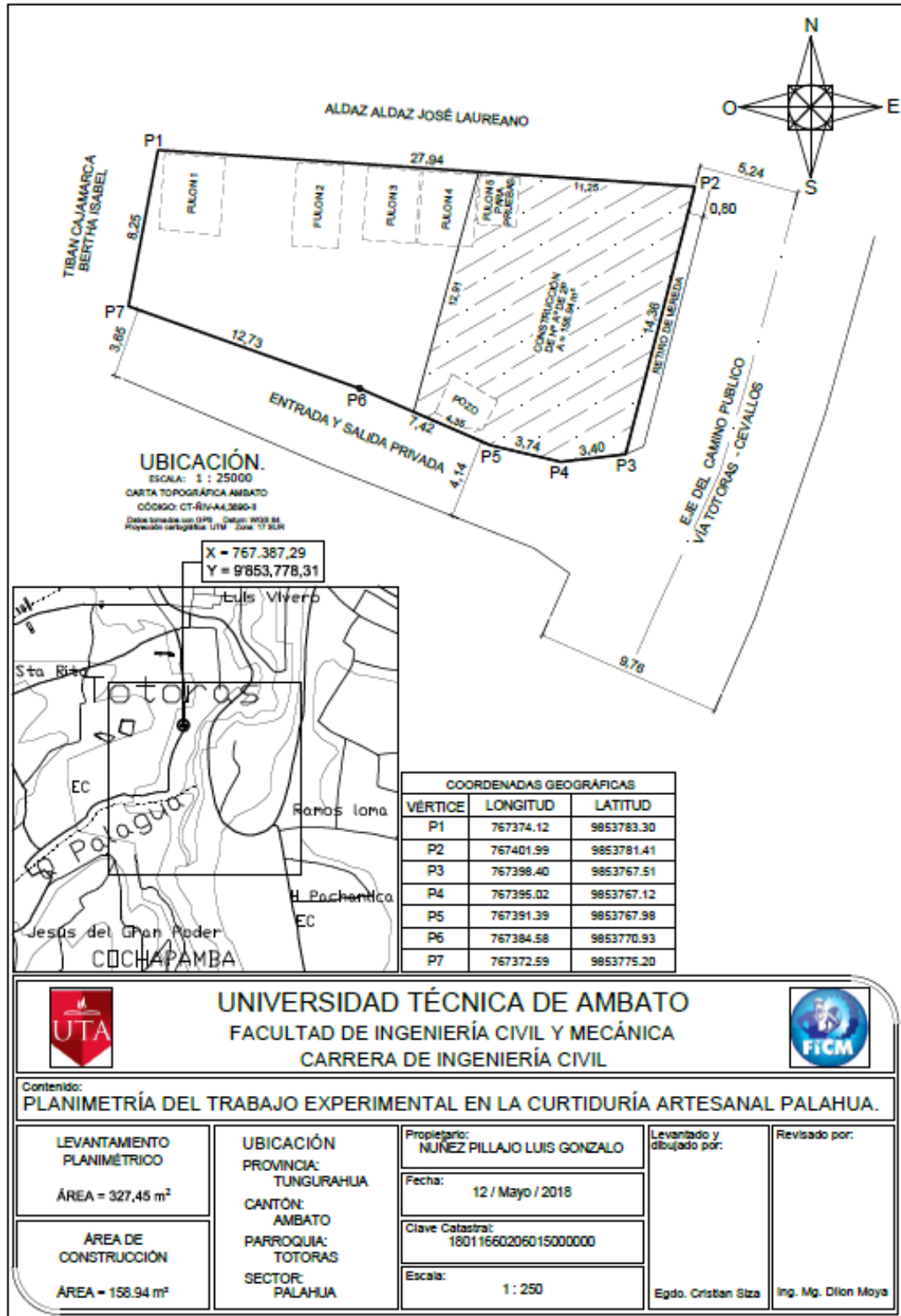
- [1] Á. D. Portilla Pozo, Análisis Técnico Ambiental del Proceso de la Curtiduría Serrano de la Ciudad de Ambato y Diseño de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales, Quito: UCE, 2013.
- [2] E. Esparza y N. Gamboa, «Contaminación debida a la industria curtiembre,» *Revista de Química*, vol. XV, n° 1, pp. 41-63, 2001.
- [3] J. Sánchez de Fuentes, E. Lujano, P. Baricelli, C. Romero, C. Bolívar y A. Pardey, «Desarrollo de un proceso para la remoción y recuperación de iones CR (III) en efluentes de tenerías,» de *XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Porto Alegre, 2000.
- [4] J. Tapia, J. Freer, H. Mansilla, J. Villaseñor, C. Bruhn y S. Basualto, «Boletín de la Sociedad Chilena de Química,» Diciembre 2002. [En línea]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-16442002000400018&lng=en&nrm=iso&tlng=en. [Último acceso: 28 01 2018].
- [5] Á. Chávez Porras, «Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la Industria Curtiembre y de las posibles formas de removerlo,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 9, n° 17, pp. 41-49, 2010.
- [6] P. Rana, N. Mohan y C. Rajagopal, «Electrochemical removal of chromium from wastewater by using carbon aerogel electrodes,» *Water Research*, vol. 38, n° 12, pp. 2811-2820, 2004.
- [7] M. Otiniano García, L. Tuesta Collantes, H. Robles Castillo, M. Luján Velázquez y M. Chavez Castillo, «Biorremediación del cromo VI de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas sp* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*,» *Revista Médica Vallejiana*, vol. 4, n° 1, pp. 32-42, 2007.
- [8] R. Amils, N. Rodríguez, J. Lalueza, A. Rius, L. Ollé, R. Puig y J. Font, «Aplicaciones biotecnológicas para la recuperación de Cr (III) a partir de efluentes de curtición,» de *XVI Congreso Latinoamericano de Químicos y técnicos de la Industria del Cuero*, Buenos Aires, 2004.
- [9] R. d. C. Umaña Bustamante, Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria de Curtiembre Mediante un Sistema de Lodos Activados a Escala Piloto, Temuco: Universidad de la Frontera, 2004.
- [10] R. Malekian, J. Abedi-Koupai, S. S. Eslamian, S. F. Mousavi, K. C. Abbaspour y M. Afyuni, «Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite,» *Applied Clay Science*, vol. 51, n° 3, pp. 323-329, 2011.

- [11] E. Mayorga Llerena y D. Carrera Villacrés, «Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego,» *X Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, vol. 10, nº 1, pp. 30-36, 2015.
- [12] M. Á. Segura Castruita, P. Preciado Rangel, G. González Cervantes, J. E. Frías, G. García Legaspi, J. A. Orozco Vidal y M. Enríquez Sánchez, «Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad,» *Interciencia*, vol. 33, nº 12, pp. 923-928, 2008.
- [13] P. y. D. Secretaria Nacional de, Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017, Quito: Senplades, 2014.
- [14] L. Jong-Wook, «Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud,» Noviembre 2004. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/WSHFact-Spanish.pdf?ua=1. [Último acceso: 25 enero 2018].
- [15] D. Jacobsen, «Los ríos de la Sierra ecuatoriana son más sensibles a la contaminación,» 2003. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/614/1/T-SENESCYT-0085.pdf>. [Último acceso: 25 enero 2018].
- [16] A. Noyola, J. M. Morgan-Sagastume y L. P. Güereca, Selección de tecnologías para el tratamiento de Aguas Residuales Municipales, México DF: UNAM, 2013.
- [17] A. Rodríguez Fernández-Alba, P. Letón García, R. Rosal García, M. Dorado Valiño, S. Villar Fernández y J. M. Sanz García, Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Madrid: Elecé Industria Gráfica, 2006.
- [18] Alianza por el Agua, «Manual de depuración de aguas residuales urbanas,» *Centa, Secretariado de Alianza por el Agua, Ecología y Desarrollo*, vol. 264, nº 1, pp. 1-261, 2008.
- [19] R. Rojas, «Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales,» *Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*, vol. 1, nº 1, pp. 8-15, 2002.
- [20] M. A. Garzón-Zúñiga, G. Buelna y G. E. Moeller-Chávez, «La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, nº 3, pp. 153-161, 2012.
- [21] Á. Arango Ruiz, «La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua,» *Revista Lasallista de Investigación*, vol. I, nº 2, pp. 61-66, 2004.
- [22] E. Moroto Arroyo y J. M. Rogel Quesada, «Aplicación de sistemas de Biorremediación de Suelos y Aguas Contaminadas por Hidrocarburos,» *Div. Protección Ambiental de Suelos*, pp. 297-305, 2002.

- [23] N. E. Samboni Ruiz, Y. Carvajal Escobar y J. C. Escobar, «Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, n° 3, pp. 172-181, 2007.
- [24] U. Latif y F. L. Dickert, «Biochemical Oxygen Demand (BOD),» *Environmental Analysis by Electrochemical Sensors and Biosensors*, pp. 729-734, 2015.
- [25] S. A. Carrillo Neira y C. F. Muñoz Labrador, Reutilización del agua residual de la operación de pelambre en el proceso productivo del cuero, Bogotá: División de Ingenierías, 2014.
- [26] J. Oleas, D. Angulo y C. Trávez, «Zapatos de cuero de vestir para exportación,» *FLACSO - MICRO Centro de Investigaciones Económicas de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa*, pp. 1-16, 2011.
- [27] Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles, Guía Técnica de Producción más limpia para Curtiembres, La Paz: Cámara de Industrias de La Paz, 2003.
- [28] S. Carrasco Díaz, Metodología de la Investigación Científica, Lima: San Marcos, 2005.
- [29] T. Grajales G., «Tipos de Investigación,» 27 03 2000. [En línea]. Available: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>. [Último acceso: 15 04 2018].
- [30] L. Herrera E., A. Medina F. y G. Naranjo L., Tutoría de la Investigación Científica, Ambato: Gráficas Corona Quito, 2004.
- [31] E. Valarino, G. Yáber y M. S. Cemborain, Metodología de la Investigación Paso a Paso, Mexico, D. F.: Trillas, 2010.
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 Agua, Calidad del agua, Muestreo, Manejo y conservación de muestras, Quito, 2013.
- [33] Ministerio del Ambiente, Libro VI de la Calidad Ambiental, Quito: Lexis, 2015.

ANEXOS.

Planimetría de la Curtiduría Artesanal Palahua.



Anexo 1. Levantamiento planimétrico del Lugar de Estudio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza **INFORME N°:** 010- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA **N° SE:** 010 - 18
DIRECCIÓN: Ambato **FECHA DE RECEPCIÓN:** 17 - 01 - 18
TELÉFONO: 0998833260 **FECHA DE INFORME:** 25 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 **Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Totoras** **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 010-18 Agua sin tratar Agua
 MA - 011-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 010-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	7355	+/-10%	17 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	3134	N/A	17 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	2,55	N/A	17 - 01 - 18

MA - 011-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	4415	+/-10%	17 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	1822	N/A	17 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	1,90	N/A	17 - 01 - 18

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
 Benito Mendoza T., Ph.D.


 Dr. Juan Carlos Lara R.
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza INFORME N°: 011- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA N° SE: 011 - 18
DIRECCIÓN: Ambato FECHA DE RECEPCIÓN: 18 - 01 - 18
TELÉFONO: 0996833280 FECHA DE INFORME: 25 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Toloras TIPO DE MUESTRA:
IDENTIFICACIÓN:

MA - 012-18 Agua sin tratar Agua
MA - 013-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 012-18

Table with 6 columns: PARÁMETROS, UNIDADES, MÉTODO/PROCEDIMIENTO, RESULTADO, U(K=2), FECHA DE ANÁLISIS. Rows include DQO, DBO5, and Cromo hexavalente.

MA - 013-18

Table with 6 columns: PARÁMETROS, UNIDADES, MÉTODO/PROCEDIMIENTO, RESULTADO, U(K=2), FECHA DE ANÁLISIS. Rows include DQO, DBO5, and Cromo hexavalente.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.

Signature of Dr. Juan Carlos Lara R. TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza **INFORME N°:** 012- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA **N° SE:** 012 - 18
DIRECCIÓN: Ambato **FECHA DE RECEPCIÓN:** 19- 01 - 18
TELÉFONO: 0998833260 **FECHA DE INFORME:** 25 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 **Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Totoras** **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN:

MA - 014-18 Agua sin tratar Agua
 MA - 015-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 014-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	7040	+/-10%	19 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	2864	N/A	19 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	3,50	N/A	19 - 01 - 18

MA - 015-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	3600	+/-10%	19 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	1483	N/A	19 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	1,00	N/A	19 - 01 - 18

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
 Benito Mendoza T., Ph.D.


 Dr. Juan Carlos Lara R.
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza **INFORME N°:** 014- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA **N° SE:** 014 - 18
DIRECCIÓN: Ambato **FECHA DE RECEPCIÓN:** 23- 01 - 18
TELÉFONO: 0998833260 **FECHA DE INFORME:** 30 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 **Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Totoras** **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 017-18 Agua sin tratar Agua
 MA - 018-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 017-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	2830	+/-10%	23 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	1152	N/A	23 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	2,30	N/A	23 - 01 - 18

MA - 018-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	1380	+/-10%	23 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	570	N/A	23 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	1,60	N/A	23 - 01 - 18

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
 Benito Mendoza T., Ph.D.


 Dr. Juan Carlos Lara R.
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza **INFORME N°:** 015- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA **N° SE:** 015 - 18
DIRECCIÓN: Ambato **FECHA DE RECEPCIÓN:** 24- 01 - 18
TELÉFONO: 0996833260 **FECHA DE INFORME:** 31 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 **Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Totoras** **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN:
 MA - 019-18 Agua sin tratar Agua
 MA - 020-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 019-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	4100	+/-10%	24 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	1804	N/A	24 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,65	N/A	24 - 01 - 18

MA - 020-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	3195	+/-10%	24 - 01 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	1342	N/A	24 - 01 - 18
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,37	N/A	24 - 01 - 18

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
 Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Cristian Siza INFORME N°: 017- 18
EMPRESA: Proyecto de Tesis UTA N° SE: 017 - 18
DIRECCIÓN: Ambato FECHA DE RECEPCIÓN: 25- 01 - 18
TELÉFONO: 0996833260 FECHA DE INFORME: 31 - 01 - 18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2 Agua residual curtiembre, Curtiduría Artesanal Palahua, Totoras TIPO DE MUESTRA:
IDENTIFICACIÓN: MA - 027-18 Agua sin tratar Agua
MA - 028-18 Agua tratada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 027-18

Table with 6 columns: PARÁMETROS, UNIDADES, MÉTODO/PROCEDIMIENTO, RESULTADO, U(K=2), FECHA DE ANÁLISIS. Rows include DQO, DBO5, and Cromo hexavalente.

MA - 028-18

Table with 6 columns: PARÁMETROS, UNIDADES, MÉTODO/PROCEDIMIENTO, RESULTADO, U(K=2), FECHA DE ANÁLISIS. Rows include DQO, DBO5, and Cromo hexavalente.

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.

Handwritten signature of Dr. Juan Carlos Lara R. TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.