



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ADITIVOS QUÍMICOS Y NATURALES EN LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES”. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE 2009-2019

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en **Ingeniería Ambiental**

Autores:

Alvin Yomar Llaro Castro

Carlos Daniel Mendoza Lara

Asesor:

Mg. Ing. Jessica Marleny Lujan Rojas

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres por haberme guiado a lo largo de mi vida, por transmitirme siempre valores que actualmente son escasos, por motivarme en los momentos más complicados, por apoyarme cuando las circunstancias eran difíciles, por ser pacientes cuando existía el caos, por enseñarme a superar los retos de la vida, por siempre darme su amor.

También, a mis hermanos que siempre fueron un suspiro de alegría y comprensión que me hizo sentir cada vez más en armonía con la familia, y muchas veces de ellos aprender cosas nuevas que me ayudaron a superar múltiples problemas.

A mi familia, en especial a mis abuelos, tíos y primos, en donde incluyo a mis amigos, los cuales siempre me brindaron sus consejos, me hicieron pasar buenos momentos, me ofrecieron su ayuda, me protegieron y contribuyeron con mi aprendizaje, tanto académico como de la vida misma.

ALVIN YOMAR LLARO CASTRO

Agradezco a mi madre por ser la piedra angular, por ser estricta y a la vez flexible, por enseñarme la importancia de la perseverancia, la lucha constante ante los albuces de ser profesional, así como por brindarme apoyo para mis estudios y formación. A mi padre, por haber sido mi prototipo de ingeniero, por enseñarme el mundo real desde la práctica y enseñarme que la mejor forma de enfrentarse al mundo es el con el trabajo.

A mi mamita Maximina, a mis tíos, tías y familiares, por contribuir desde muchos aspectos a mi formación como persona y como futuro profesional, desde un consejo, hasta haberme brindado un espacio para realizar mis estudios universitarios, y recordarme que cada clavo bien colocado formará la puerta para ir hacia adelante.

CARLOS DANIEL MENDOZA LARA

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos guiado a lo largo del paso del tiempo, por dejarnos el mundo que conocemos tal como está y por habernos motivado a elegir la carrera para mejorar la calidad de vida tanto nuestra, de nuestro prójimo y del ecosistema que es nuestro hogar.

Nuestro agradecimiento a nuestros docentes universitarios por habernos enseñado y guiado en todo el camino de aprendizaje para tener los conocimientos necesarios que nos permitieron realizar este artículo de revisión, y nos motivaron para dar soluciones a los múltiples problemas que como futuros profesionales nos enfrentaremos.

A la Mg. Jessica Luján Rojas, nuestra asesora, por brindarnos su apoyo y darnos las herramientas necesarias para la elaboración de nuestro artículo de revisión.

Queda grabado nuestro profundo agradecimiento a la Universidad y a todas las personas que hicieron posible este trabajo.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	13
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Registro de Datos	13
Tabla 2 Base de Datos Digital	15
Tabla 3 Características de los Estudios	16
Tabla 4 Comparación de Universidades, entre sí: Naturaleza, País de origen y año de publicación	17
Tabla 5 Artículos encontrados relacionados a su aplicación y al tipo de aditivo	18
Tabla 6 Inducción de Categorías	20

RESUMEN

La contaminación de las aguas residuales de curtiembre son un problema persistente y peligroso para el ambiente y la salud, por ello mediante una revisión sistemática entre los años 2009 a 2019, se propone conocer la viabilidad del uso de aditivos químicos y naturales que resulten ser más eficientes en la reutilización de las aguas residuales de curtiembre; para esto se aplicó la metodología de selección de los artículos y tesis de investigación, que incluyeron criterios como: Fuentes de datos de búsqueda a través de las palabras clave, fecha de publicación máxima de 10 años, las variables estudiadas y la estructura adecuada, obteniendo como resultado 22 artículos seleccionados, todos extraídos de diversas revistas digitales, siendo Colombia el país de donde se extrajo mayor número de investigaciones, y por ende el español resultó el idioma más predominante. Las investigaciones tuvieron una tendencia a emplear métodos como adsorción y precipitación, donde la mayor cantidad de trabajos usó aditivos químicos. Los artículos tuvieron una eficiencia promedio del 74%, concluyendo la efectividad de estos dos aditivos para recuperar insumos y reutilizar las aguas de curtiembre, y dependiendo de los aditivos y métodos, se pueden lograr eficiencias mayores al 98% a costos accesibles.

PALABRAS CLAVES: Aguas Residuales, Aditivos Químicos, Aditivos Naturales, Tannery, Reutilización, Wastewater Treatment.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La industria del cuero en el Perú está comenzando a revalorizarse debido al impulso que el Gobierno ha incorporado para el crecimiento de las microempresas, esta medida es en gran proporción buena para la reactivación económica, sin embargo, al mirar el panorama completo, las empresas encargadas del proceso del cuero, es decir las curtiembres, son una de las industrias más contaminantes tanto en agua, suelo y atmósfera, debido al uso de insumos, en su gran mayoría químicos como sulfuro, cromo y nonil fenol (Ravello, 2017, p.10; Castañeda, Cesare, Vargas y Visitación, 2017, p. 441) que son vertidas en sus aguas residuales. Las curtiembres consumen grandes volúmenes de agua, por lo que es muy frecuente que no exista un adecuado control de calidad de sus vertimientos, afectando así la salud de los operadores, al sistema de saneamiento e inclusive podría afectar en la seguridad sanitaria de los pobladores aledaños, debido a que estas aguas se conectan a la red de alcantarillado y son vertidos al mar en modo directo (Ravello, 2017, p. 11, en referencia a Venegas, 1998 y Chancape, 1996).

Las aguas residuales industriales en específico, las de curtiembre, tienen en su composición una mezcla de contaminantes de origen orgánico e inorgánico, en su mayoría contienen cromo alrededor de los 2400 mg/L (Ravello, 2017, p.10 en referencia a Otiniano, 2009) para la conservación textil y recubrimiento del cuero (Benitez, 2011, p.27), al ser vertidos ocasionan graves problemas de contaminación en la fuente hídrica, al mismo tiempo que dicha agua residual contiene altas concentraciones de sulfuros, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Disueltos (SD) (Umbarila, Prado y Agudelo, 2019, p.27), así como productos químicos tóxicos, cloruro, cal y metales pesados.

Debido a los serios problemas de contaminación que exigían optimizar el uso y tratamiento de sus aguas, se emplearon los aditivos químicos y naturales. Los aditivos químicos como el Ozono (Umbarila, et al., 2019, p. 25), hidróxido de sodio (Ortiz, Esquivel, León y Mahecha, 2018, p. 286), sulfuro de sodio y cal (Guzmán y Luján, 2010, p. 466), son los más usados, a causa de su gran eficiencia de remoción de metales, microorganismos y regulación de parámetros físico-químicos. A su vez se buscaron nuevas alternativas, como los aditivos naturales, que buscan ser eco-amigables, menos costosas y de gran eficiencia

como los biomateriales (Quiñones, Tejada y Ruiz, 2014, p. 26), residuos de café (Cubides y Ramírez, 2014, p.18), cáscaras de naranja, plátano y arroz (Dávila, Sanchez, Ordoñez, Muñoz y Benitez, 2017, p. 50; Rios, Rodriguez, Salinas y Vargas, 2012, p.146).

En consecuencia, la producción de cuero es un proceso que viene acompañado de un impacto ambiental significativo, afectando principalmente el recurso hídrico, debido a que es consumido en grandes cantidades; al mismo tiempo que es contaminado con múltiples compuestos provocando grandes problemas, entre ellos se resalta el cromo, sulfuros, turbidez y DBO. Esta problemática impulsa a buscar diversas alternativas que sean eficientes, rentables y amistosas con el ambiente, para ello se plantean varias opciones en los que resaltan dos grandes grupos, por un lado aditivos químicos, los que en su mayoría son oportunos y efectivos al remover el cromo y otras sustancias, y por el otro lado aditivos naturales que a la par con los aditivos químicos, muestran un lado más ecológico, económico e innovador.

Al ponerse en manifiesto la afectación ambiental que genera la industria de curtido en el recurso hídrico, se planteó la pregunta en torno a ¿Cuán eficiente es el uso de aditivos, tanto químicos como naturales para reutilizar las aguas generadas en los procesos de curtiembre? Existen alternativas con estos aditivos para reutilizar o remover los insumos utilizados en estos procesos, por lo cual el objetivo de este artículo de revisión considera conocer a través de una revisión sistemática en los últimos 10 años, la viabilidad del uso de aditivos químicos y naturales que resulten ser más eficientes en la reutilización de estas aguas en base al porcentaje de remoción, costo de operatividad, oportunidad y porcentaje de recuperación.

Borda (2014, p.1) hace uso de una combinación de aditivos, cal por parte de los químicos y cáscara de naranja por parte de los naturales para la reducción de cromo, obteniendo una eficiencia de 96,14%, reducción muy significativa para una posterior reutilización de aguas residuales, como en Calle, Fúneque, Manrique y Yate (2018, p. 251) donde logran recuperar hasta 54% de agua post tratamiento. Por ello, el presente artículo de revisión propone conocer a través de data científica si el uso de estos 2 aditivos es viable y eficiente, orientando así a que las empresas opten por el reúso de sus aguas, debido al gran volumen de agua e insumos que utilizan, así como reducir los costos de operatividad y los

impactos negativos que se traducen a sanciones, así como los daños que generan en la salud de sus operarios, población aledaña y al ambiente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Criterios de Inclusión

Para el análisis de los estudios revisados, se han tomado en consideración aquellos que tienen un común denominador con nuestras variables a estudiar, las cuales son el tiempo desde su fecha de publicación, siendo nuestro interés conocer las alternativas que más se han implementado en los últimos 10 años, asimismo, se ha buscado aquellas que tienen un objetivo que proponga la eficiencia en los resultados, debido a que se proyecta analizar y comparar las alternativas más eficientes entre aditivos químicos y naturales. Se ha priorizado la búsqueda de artículos científicos, debido al nivel de confiabilidad que estas presentan, aunque también se ha incluido tesis y artículos de revisión tanto en español como en inglés que lleven concordancia con nuestro tema.

2.2. Recursos de Información

La investigación procede de una búsqueda y revisión sistemática de múltiples bases de datos, los cuales llevan consigo una trayectoria dedicada a la publicación de artículos científicos, revistas, tesis, etc.; que permiten sustentarlas como fuentes confiables. De las cuales se han buscado en 31 Artículos, en las que se pueden mencionar buscadores como Scielo, Google Académico, Revistas de Ingeniería, Repositorios de Universidades a nivel Nacional e Internacional, plataformas virtuales multi-temáticas como EBSCOhost y algunas redes de investigación como ResearchGate, incluyendo 22 artículos con mayor afinidad al tema. Cabe destacar que varios de los artículos contienen DOI (Identificador del Objeto Digital), que garantizan información permanente y disponible.

2.3. Búsqueda de Información

Antes de realizar la búsqueda de información en los metabuscadores se definió las palabras clave que serían importantes para nuestra investigación, utilizando los que tenían una relación más directa con alguna de nuestras variables, por lo que ha sido necesario conocer y recabar información en base a estudios en diversas partes del mundo, por ello se utilizó tanto el idioma español como inglés para la búsqueda de información con las palabras clave. Habiendo contrastado en los buscadores en base a estas palabras y tomando como referencia los criterios de inclusión mencionados, para tener un mejor filtro de información

se utilizó los operadores booleanos, así como el tiempo de estudio, y el tipo de artículo o documento.

2.4. Descarte e Inclusión

En referencia a los criterios que se tomaron en cuenta para descartar y de esta manera filtrar parte de los artículos analizados, se mencionan: La relación que debe existir con nuestras variables estudiadas y las diversas palabras claves involucradas, la fecha de publicación de los trabajos, que deben estar comprendidos entre 2009 y 2019, así como el tipo de investigación que se desarrolló en cada trabajo, además se categorizó las metodologías empleadas en cada artículo, donde se buscó que sean efectivas y que garanticen ser alternativas viables al momento de su aplicación, también se consideró la estructura y contenido del artículo de investigación. Todos ellos conforman los criterios de selección que permitieron tener información notable y esencial en las búsquedas realizadas.

2.5. Selección de Datos

Basado en los criterios de descarte e inclusión mencionados, para definir los trabajos de investigación más afines a nuestro interés, se dispuso a consolidar toda la gama de información seleccionada, donde se ha detallado con más precisión la información independiente contenida en estos artículos como el año, revista universitaria, científica o metabuscador donde fue publicado, los autores e institución que se hicieron cargo de la investigación, el tipo de estudio, el país de estudio; e información en común como las palabras clave de los trabajos de estudio, los conceptos o variables, y una descripción sintética de los objetivos, resultados, instrumentos de medición y conclusión de los artículos. Cabe señalar que los artículos seleccionados pasaron por estos filtros que confirman afinidad investigativa con nuestro artículo de revisión.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La presente investigación sistemática ha comprendido la revisión de un total de 31 artículos, los mismos que pasaron por filtros para la selección de los trabajos que serían incluidos, lo que conllevó a que sean eliminados o descartados algunos artículos de acuerdo a ciertos criterios como: fecha de publicación, debido a que debían estar comprendidas entre los años 2009 al 2019, además ha sido indispensable que exista al menos una de nuestras variables de estudio, una estructura de artículo adecuada, ser de fuentes con aceptación científica o incluir ciertas palabras clave dentro de su investigación. Estos criterios han permitido excluir 9 artículos, para así obtener finalmente un consolidado de 22 artículos seleccionados, presentados en la siguiente tabla.

Tabla 1

Matriz de Registro de Datos

Nº	Base de Datos	Revista de Publicación	Autor / Autores	Año	Título del artículo de investigación
1	Google Académico	Investigación	Diana Marcela Fúquene, Jorge Orlando Manrique, Leonardo Emilio Calle y Andrea Viviana Yate	2018	Reducing of the environmental impact of unhairing process in colombian tanneries
2	Google Académico	Investigación	Yasmín Castañeda, Rocío Vargas, Mary Césare & Lizardo Visitación	2017	Evaluación y Tratamiento de efluentes del remojo convencional y enzimático de pieles, por precipitación de proteínas y coagulación
3	Scielo	Investigación	Candelaria Tejada Tovar, Edgar Quiñones Bolaños, Lesly Tejada Benitez, Wilfredo Marimón Bolívar	2015	Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cáscaras de naranja (<i>Citrus sinensis</i>)
4	Dialnet	Investigación	Yansy Milena Rodríguez, Lizbeth Paola Salinas, Carlos Alberto Ríos & Luz Yolanda Vargas	2012	Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres
5	EBSCO HOST	Investigación	Katherine Guzmán Ordóñez y Marcos Luján Pérez	2010	Reducción de emisiones de la etapa de pelambre en el proceso de curtido de pieles
6	EBSCO HOST	Ingeniería	Gallego Molina, Angélica del Carmen	2011	Caracterización y Tratamiento mediante membranas de las aguas residuales de desenchalado de una industria de curtidos para su reutilización

7	EBSCO HOST	Ingeniería	Nidia Elena Ortiz Penagos, Jénifer Ayala Esquivel, Andrea Juliana León Luque, Laura Camila Mahecha Cepeda	2018	Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres
8	EBSCO HOST	Ingeniería	Uriel Fernando Carreño Sayago	2016	Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la <i>Eichhornia crassipes</i>
9	EBSCO HOST	Investigación	Tatiana Andrea Dávila- Martinez , Nazly Efredis Sanchez-Peña, Darwin Andrés Ordoñez-Eraza , Jefferson Fabian Muñoz- López , Ricardo Benitez- Benitez	2017	Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: Remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos
10	EBSCO HOST	Investigación	Rameshraj, D. & Suresh, S.	2011	Treatment of Tannery Wastewater by Various Oxidation and Combined Processes
11	ResearchGate	Ingeniería	Hesham M. Abdulla, Engy M. Kamal, Amr H. Mohamed	2010	Chromium removal from tannery wastewater using chemical and biological techniques aiming zero discharge of pollution
12	Scielo	Ingeniería	María Fernanda Umbarila- Ortega, Juan Sebastián Prado-Rodríguez & Rafael Nikolay Agudelo- Valencia	2019	Remoción de sulfuro empleando ozono como agente oxidante en aguas residuales de curtiembres
13	ResearchGate	Investigación	Pablo Cubides Guerrero y José Herney Ramírez Franco	2014	Adsorción de Cr VI sobre residuos de café
14	Google Académico	Investigación	Nidia Elena Ortiz y Juan Carlos Carmona	2015	Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio
15	ResearchGate	Investigación	A. Hashem, A. Momen, M. Hasan1, S. Nur-A- Tomal & H. R. Sheikh	2018	Chromium removal from tannery wastewater using <i>Syzygium cumini</i> bark adsorbent
16	Google Académico	Ingeniería	Ravello Alva, Marthy Odilón	2017	Evaluación Técnica-Económica, al recuperar y reutilizar el cromo en efluentes de curtiembre Rebaza, minimizando el impacto ambiental negativo.
17	Google Académico	Ingeniería	Edgar Quiñones, Candelaria Tejada, Victor Ruiz	2014	Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales

18	Scielo	Investigación	Hansel Cordova Bravo, Rocio Vargas Parker, Mary Cesare Coral, Lisveth Flores del Pino, Lizardo Figueroa	2014	Tratamiento de las Aguas Residuales del Proceso de Curtido Tradicional y Alternativo que utiliza acomplejantes de cromo
19	Dialnet	Investigación	Edisson Duarte, Jesus Olivero Vervel, Beatriz Jaramillo	2009	Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembre usando Quitosan obtenido de desechos de camarón
20	Google Académico	Ingeniería	Borda Prada Olga Lucia	2014	Evaluación y Reducción de los niveles de cromo en muestras de aguas residuales provenientes de curtiembres
21	Google Académico	Investigación	Neyla Benitez Campo	2011	Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres
22	EBSCO HOST	Investigación	Tasneembano Kazi, Arjun Virupakshi	2013	Treatment of Tannery Wastewater Using Natural Coagulants

Nota: Artículos seleccionados

Los artículos se han recolectado haciendo uso de diversos buscadores como EBSCO HOST, Dialnet, Scielo, Google Académico y ResearchGate, donde se puede encontrar una base de datos aceptada por la academia científica debido a que para su publicación es necesario que contengan ciertos requisitos para ser aprobada y publicada en sus portales digitales, como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2

Base de Datos Digital

Buscadores	Cantidad	%
Dialnet	2	9
Google Académico	7	32
EBSCO HOST	7	32
ResearchGate	3	14
Scielo	3	14
TOTAL	22	100

Nota: Representan los sitios donde se encontraron los artículos seleccionados

En la tabla 3 se evidencia las características de los estudios que se trabajaron en la revisión sistemática de nuestra investigación, teniendo en cuenta información de artículos

científicos, revistas y tesis de maestría, los mismos que se encontraron en un periodo de 10 años, hallando mayor cantidad de trabajos pertenecientes al año 2014.

Tabla 3
Características de los Estudios

Tipo de Documento	F	%	Año de Publicación	Revista de Publicación del Artículo		F	%	
				F	%			
Artículos Científicos	17	77	2009	1	5	Investigación	1	64
Tesis	2	9	2010	2	9	Ingeniería	8	36
Artículos de Revisión	3	14	2011	3	14			
			2012	1	5			
			2013	1	5			
			2014	4	18			
			2015	2	9			
			2016	1	5			
			2017	3	14			
			2018	3	14			
			2019	1	5			
TOTAL	22	100	TOTAL	22	100	TOTAL	2	100
							2	

Nota: Detalla la cantidad (F) y el porcentaje (%) de trabajos de investigación, de acuerdo a sus características.

Los artículos y tesis encontrados en la búsqueda recabaron información de una gran cantidad de instituciones de varios países, las cuales se han clasificado según su naturaleza como entidades Públicas o Privadas. Los resultados demuestran que la mayoría de trabajos publicados se encuentran dentro de las Universidades Públicas, con un 57% del total, mientras que dentro de la naturaleza Privada, se incluyeron tanto universidades como Institutos de reconocida trayectoria, representando el 43% aproximadamente (ver tabla 4). Asimismo, muchos de los trabajos incluidos pertenecen a distintas partes del mundo, y se puede apreciar que existe un mayor número en América Latina, donde la mayor cantidad de artículos proceden de Colombia y Perú, luego le siguen países de Asia y Europa, como se aprecia en la figura 1.

Tabla 4
Comparación de Universidades, entre sí: Naturaleza, País de origen y año de publicación

Nº	Universidad / Instituto	Naturaleza	País	Año
1	Universidad Nacional de Colombia/ Universidad Nacional Abierta y a Distancia	Pública	Colombia	2018
2	Universidad Nacional Agraria La Molina	Pública	Perú	2017
3	Universidad de Cartagena	Pública	Colombia	2015
4	Universidad Industrial de Santander	Pública	Colombia	2012
5	Universidad Católica Boliviana San Pablo	Privada	Bolivia	2010
6	Universidad Politécnica de Madrid	Pública	España	2011
7	Universidad Santo Tomás	Privada	Colombia	2018
8	Fundación Universitaria los Libertadores	Privada	Colombia	2016
9	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca & Universidad del Valle	Privada	Colombia	2017
10	Indian Institute of Technology Roorkee	Privada	India	2011
11	Suez Canal University	Privada	Egipto	2010
12	Universidad Libre de Colombia	Privada	Colombia	2019
13	Universidad Nacional de Colombia	Pública	Colombia	2014
14	Universidad de Caldas	Pública	Colombia	2015
15	Islamic Azad University	Privada	India	2018
16	Universidad Nacional de Trujillo	Pública	Perú	2017
17	Universidad de Cartagena	Pública	Colombia	2014
18	Universidad Nacional La Agraria La Molina	Pública	Perú	2014
19	Universidad Tecnológica de Pereira	Pública	Colombia	2009
20	Universidad Santo Tomás	Privada	Colombia	2014
21	Universidad del Valle	Pública	Colombia	2011
22	Extraída de un Diario Internacional	-	India	2013

Nota: Ciertos artículos (Art.22) no se incluyeron ciertos aspectos en esta lista, al no pertenecer a las categorías de clasificación en esta tabla.

Figura 1. Resultados de los artículos seleccionados por su respectivo País

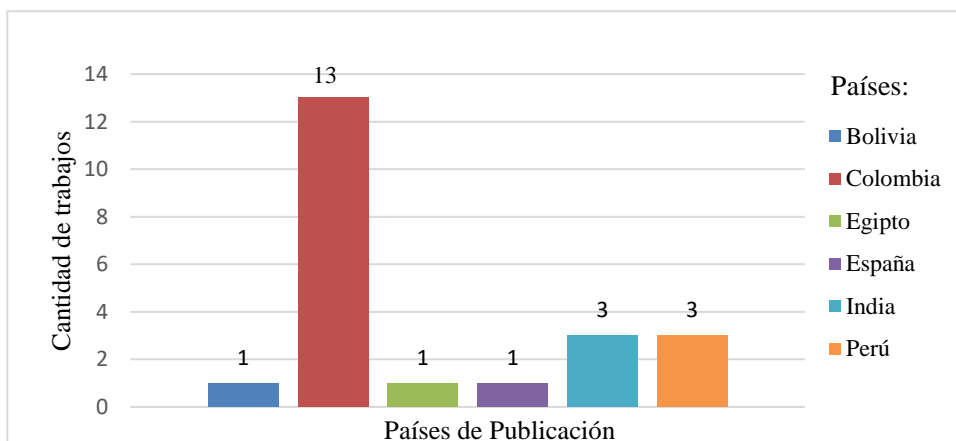


Figura 1. Cantidad de publicaciones por país

Para la selección de los artículos, se hizo énfasis en la variable de aditivos usados, los cuales podían incluir tanto químicos como naturales. Respecto a este último, los estudios comprenden un análisis en su gran mayoría de materiales orgánicos no vivos, tales como cáscara de arroz, residuos de café, cascara naranja o residuos de trigo. La eficiencia de ambos aditivos ha sido un tema de análisis para cada proceso enmarcadas en metodologías, entre las cuales se destacan precipitación y adsorción, métodos en los que se ha buscado una relación estrecha con la variable de aguas residuales de curtiembre y se ha logrado corroborar la presencia de la mayoría de los artículos con este enfoque de aplicación (ver tabla 5).

Tabla 5

Artículos encontrados relacionados a su aplicación y al tipo de aditivo

Artículos	Metodología	Enfoque de Aplicación	Tipo de aditivo		
			Químico	Natural	Ambos
1	Precipitación	Curtiembre	x		
2	Precipitación y Coagulación	Curtiembre			x
3	Absorción	Soluciones Acuosas		x	
4	Adsorción	Curtiembre		x	
5	Precipitación	Curtiembre	x		
6	Precipitación	Curtiembre	x		

7	Precipitación	Curtiembre	x		
8	Adsorción	Curtiembre			x
9	Adsorción	Curtiembre			x
10	Oxidación	Curtiembre	x		
11	Precipitación	Curtiembre	x		
12	Oxidación	Curtiembre	x		
13	Adsorción	Curtiembre			x
14	Precipitación	Curtiembre	x		
15	Adsorción	Curtiembre			x
16	Precipitación	Curtiembre	x		
17	Adsorción	Curtiembre			x
18	Precipitación	Soluciones Acuosas	x		
19	Adsorción	Curtiembre			x
20	Precipitación y Adsorción	Curtiembre			x
21	No Presenta	Curtiembre	-	-	-
22	Coagulación y Floculación	Curtiembre			x

Nota: El artículo 21 por ser de tipo Revisión, no realiza una investigación experimental.

Por último, se clasifican los aportes brindados por las investigaciones en categorías, las cuales enmarcan los temas y conceptos principales abordados en cada estudio donde se incluye una variable de investigación así como definiciones importantes dentro del trabajo realizado, además se incorporan los aportes sobresalientes que describen los artículos analizados y se establecen relaciones entre los diversos aspectos ligados a nuestro tema de revisión. Se ha logrado integrar y puntualizar los conceptos hallados, en un total de 5 categorías (ver tabla 6).

Tabla 6

Inducción de Categorías

Categorías	Aportes
Reutilización y recuperación	<p>La reutilización abarca insumos y agua residual. Para el caso del cromo, se consiguió reutilizar 93,08% de cromo por debajo de 1000 mg/L como Cr₂O₃ (Ravello, 2017, p.33-36). También se puede reutilizar sal de cromo, recuperada con ácido fórmico y Na₂S. El cromo se puede recuperar, regenerar y reutilizar en el mismo proceso de curtido (Ortiz y Carmona, 2015, p. 124). Para el sulfuro, se puede reutilizar mediante generación de H₂S y reacción con NaOH, con eficiencia del 100% en 90 min. Al recuperarse los sulfuros se produce Na₂S, el cual puede reutilizarse del pelambre y disminuir la generación de lodos (Ayala, et al., 2018, p. 294). El sulfuro libre puede recircularse hasta por 3 veces, lo que equivale al 54% de agua, y con sulfuro mixto un 43% de agua puede reutilizarse (Calle, et al., 2018, p. 251-252). En el proceso de desescalado, el FeCl₃ a 200 ppm logra disminuir 54% de DQO y por precipitación de proteínas con HCl, el agua se recupera en 20% (Gallego, 2011, p. 107-109).</p>
Reducción	<p>Para la reducción de parámetros fisicoquímicos se hace uso de varios métodos. Una es combinando H₂O₂/UV y oxidación Fenton siendo muy eficiente. La oxidación Fenton es satisfactorio cuando aumenta el DQO soluble (Rameshrajya y Suresh, 2011, p. 355-356). La reducción de DBO, DQO y cloruros llega a 97, 94 y 56% con el comino (Hashem, et al., 2018, p. 1402). Al usar 3 coagulantes naturales: Cicer aretinum (0,1g/500ml), Moringa oleifera (0,3g/500ml) y Cactus (0,2g/500ml), estos reducen turbidez hasta 82.02% y DQO en 90% con pH entre 4.5 y 5.5 (Tasneembano y Arjun, 2013, p. 4061). Para los sulfuros, mediante aeración para su oxidación y añadiendo 20 kg de MnSO₄ en un reactor, luego de 70 min de tratamiento, los sulfuros se reducen en 24,3% (Guzmán y Luján, 2010, p. 477-478).</p>
Remoción con aditivo natural	<p>La remoción con aditivos naturales tuvo como elemento principal al cromo. A tiempos de contacto mayores a 15 min la remoción de cromo es mayor, llegando hasta 99,9%, con una dosis de 3 g de comino/75 mL agua residual (Hashem, et al., 2018, p. 1401). Se obtuvo remociones hasta 93% con el uso de biofiltros con cáscara de plátano y naranja, siendo el más eficiente Fd (30% naranja/70% plátano). El plátano tiene mayor remoción de Cr⁺⁶ debido a la lignina (Dávila, et al., 2017, p. 50-54). A pH alcalino hay mayor adsorción, la ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH obtiene una remoción (72,8%) a 60 min con 0,5 g (Ríos, et al, 2012, p.151). Con la cáscara de naranja, se adsorbe hasta 6 g/L (66,8%), a condiciones de pH 3 y tamaño de partícula 0,425 mm en 120 min. A menor tamaño de partícula, mayor capacidad de adsorción de Cr⁺⁶ (Marimón, et al., 2015, p. 17). Se obtuvieron remociones de cromo hasta 61% y del 66% de DBO, mediante un biosistema con Eichhornia crassipes (Carreño, 2016, p. 79-80). Los cunchos de café sin tratamiento poseen menor costo y un 95% de remoción de Cr⁺⁶ (Cubides y Ramirez, 2014, p. 18). Usando el quitosano del exoesqueleto del camarón se tuvo una remoción de Cr⁺³ mayor al 85% en más de 40 min (Duarte, et al., 2009, p. 294). Entre las biomásas lignocelulósicas, hay mayor remoción de Cr⁺⁶ con los residuos de trigo con 322,58 mg/g y para el Cr⁺³ los residuos de cáscaras de naranja con 74,87 mg/g (Quiñones, et al., 2014, p. 37).</p>

<p>Remoción con aditivo químico</p>	<p>En la remoción con aditivos químicos, el estudio es variado. Existe mayor remoción de sulfuro cuando el pH es alcalino. El ozono puede oxidar y remover debido a la presencia de sólidos en el agua, los cuales saturan el agua residual y aseguran el oxidante en el agua. A pH 11 alcanzó una remoción de 77,78% de sulfuros (Umbarila, et al, 2019, p.33). El ozono es muy eficiente, sin embargo genera costos muy altos (Rameshrajya y Suresh, 2011, p. 357). Para parámetros físico-químicos y cromo, se usaron cemento y limo como agentes precipitantes. Los efectos de remoción de DQO y Cr dependen del pH, en el limo llegó hasta 70% con 2- 3 g/100ml, así como el Cr 3+ tuvo remociones de hasta 99% en 120min. El cemento removió 38% de DQO (Abdulla, et al, 2010; p. 175-176). H₂O₂ e Hipoclorito de calcio son los oxidantes más eficientes para remover cromo (Rameshrajya y Suresh, 2011, p. 356). La remoción de Cr por precipitación de Cr(OH)₂ presenta una máxima remoción entre 0,5 y 5,5 g/L con pH entre 7,36 y 9,99. El uso de acomplejantes y basificantes de cromo mejora la calidad del efluente, debido al agotamiento del cromo (Cesare, et al, 2014, p. 189-190).</p>
<p>Remoción con aditivo Mixto</p>	<p>La remoción con aditivos mixtos tuvo un estudio variado. Con adición de 4g de cal comercial a 10ml (pH entre 8 y 9), los niveles de cromo se reducen hasta 0,3 mg/L. Con la adición de dosis de cáscara de naranja a 0,6g, se logran reducir cromo hasta 62,9mg/L (Borda, 2014, p. 6-7). Así también se propuso un sistema de tratamiento para los efluentes de remojo convencional y enzimático en 2 etapas. La primera con precipitación de proteínas con HCl y KOH. En los 2 remojos a pH 12, alcanza remociones máximas. Para el efluente del remojo enzimático, el poder limpiador de la enzima Tanzyme RD04 genera pieles mejor remojadas, lo que se traduce en una mejor limpieza de las mismas. La segunda, por coagulación, la dosis óptima en ambos remojos es 800 mg de Al₂(SO₄)₃/L (Castañeda, et al., 2017, p. 444-451).</p>

Nota: Para el artículo 22 no realiza un análisis comparativo. Las categorías corresponden a las coincidencias de los artículos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para los propósitos de revisión y análisis del presente artículo, se ha contado con 22 artículos en nuestra base de datos, las mismas que han sido descritas en tablas donde se mencionan todos los artículos con sus respectivos autores (Tabla 1), los buscadores de los artículos como Scielo, Researchgate o EBSCO Host (Tabla 2), además de las características particulares de los estudios (Tabla 3) y el país de publicación (Tabla 4). A modo genérico se puede describir que los artículos revisados presentan una similitud que puede ser clasificada en base a su metodología a realizar así como el aditivo empleado, donde el 48% de los artículos usan aditivo químico, 43% aditivo natural y 10% ambos aditivos (Tabla 5), así como las respectivas categorías a las cuales se orientan los artículos (Tabla 6). Este análisis es de suma importancia para poder tener un marco general de cómo el uso de los aditivos contribuye a la reutilización de insumos y de las aguas residuales de los procesos.

El enfoque de la reutilización de las aguas residuales tiene una gran amplitud, considerando que de ella se desprenden múltiples alternativas para objetivos particulares tanto para investigadores como para las empresas, y son estas últimas las que buscan optimizar procesos y reducir sus costos debido al alto consumo energético que generan (Benitez, 2011, p.26) y al tratamiento extra para disminuir la generación de lodos presente en sus aguas (Ayala, et al., 2018, p. 294). El empleo de estos 2 aditivos se está volviendo más recurrente debido a las eficiencias obtenidas en los artículos revisados, y se observa 3 métodos para la reutilización de aguas de curtiembre: La primera y la segunda se enfocan en remoción o reducción del insumo y la tercera en la reutilización o recuperación del agua o insumo. Para efecto de homogeneizar datos, la eficiencia es el promedio de los resultados de cada trabajo, por ejemplo, en el caso de los aditivos químicos, la eficiencia oscila desde 31,75% (Gallego, 2011, p. 106-120) hasta 98% (Ayala, et al., 2018, p. 290-295); mientras que en los naturales, la eficiencia está entre 47,68% (Cubides y Ramirez, 2014, p. 21-23) hasta 91,12% (Hashem, et al., 2018, p. 1399-1402).

Uno de los fines más comunes para el empleo de estos aditivos es la **reducción**, debido a que los efluentes, como los procesos de la etapa de ribera, los cuales contienen una elevada carga contaminante (Guzmán y Luján, 2010, p. 476), por lo que hay distintos experimentos para eliminarlos, como Rameshrajya y Suresh (2011, p.352-356), que revisan distintos procesos de oxidación catalítica con $MgSO_4$, $NiSO_4$, Fenton; electrocoagulación

por ozono y procesos combinados como electro-oxidación con TiO_2/UV , O_3/UV y H_2O_2 , encuentran que el ozono puede reducir hasta 98% de agentes contaminantes. Otro estudio hecho por Tasneembano y Arjun (2013, p.4068), logra reducir 24,3% de sulfuros y hasta 90% de DQO de las aguas de curtiembre con el método de coagulación- floculación usando aditivos naturales (garbanzo, moringa y cactus), logrando una eficiencia total de 86,01%. Asimismo, en el trabajo de Hashem et al., (2018, p. 1402), logran la reducción de DBO en 97%, DQO en 94% y cloruros en 56%, por medio de la corteza del comino.

El mayor uso que se da para ambos aditivos es para el proceso de **remoción**, debido a que el costo del proceso es menor que para recuperar o reutilizar. En el caso de la **remoción con aditivos químicos**, hay varios experimentos como el de Umbarila, et al., (2019, p. 25-36) con el método de oxidación por ozono (O_3) para la remoción de sulfuros, donde obtuvieron una remoción y eficiencia global de 77,78%. Para Abdulla, et al., (2010, p. 176) haciendo uso de difenilcarbamida, cemento y limo, obtienen que por el método de precipitación química, con 3g de limo a pH 6,6 logran 99% de remoción, con una eficiencia global de 80,88% para remover cromo. Otros como Cesare, et al., (2014, p. 187-190), mediante precipitación para la remoción de cromo de curtido, obtienen que con 5g de acomplexante generan 99% de remoción, lo que genera una eficiencia global 62,5%.

En el caso de la **remoción con aditivos naturales**, el método de adsorción mejora por el tamaño de la partícula (Marimón, et al., 2015, p. 17) y por la lignina, como menciona Dávila, et al., (2017, p. 50-54), ya que para estos últimos, mediante adsorción por biofiltros de cáscaras de naranja y plátano logran remover hasta 93% de Cr^{+6} , con el biofiltro de 30% naranja y 70% plátano, y obtienen una eficiencia global de 84,8%. Un similar estudio es el de Ríos, et al., (2012, p. 151) con la cascarilla de arroz modificada con ácido fosfórico (H_3PO_4) e Hidróxido de sodio (NaOH) logrando adsorciones de 72,8% de cromo con 0,5g a 1 p/p de NaOH, y una eficiencia global de 58,83%. Otro caso resaltante es el de Hashem et al., (2018, p. 1401) que utiliza la corteza del comino para remover hasta 99,9% de cromo y logra una eficiencia global de **91,12%**, haciéndolo el más eficiente de los aditivos naturales. Existen casos particulares, como el de Carreño (2016, p. 77-80), que mediante adsorción por Jacinto de agua logra remociones de hasta 84% para cromo y parámetros fisicoquímicos, con una dosis de 40:60 (Curtiembre/ Agua Destilada), y obtiene una eficiencia global de 65,6%; también está el de Duarte, et al., (2009, p. 294) que usando Quitosano del 29% de los

desechos de camarón, remueven hasta 85% de cromo, donde su eficiencia global resultó 65%.

En ciertos estudios, investigaron la factibilidad de **remoción con aditivos mixtos**, es decir acoplado los dos aditivos, este es el caso de Borda (2014, p. 4-7), que trabaja con cal (CaO) y cáscara de naranja mediante precipitación y adsorción, llegando a remover cromo en 99,9% con cal y 92,3% con cáscara de naranja, siendo el trabajo mixto más eficiente con **96,14%**; por otro lado Castañeda, et al., (2017, p. 451), realizan un tratamiento de las aguas de con remojo enzimático mediante precipitación de proteínas con KOH y coagulación con $Al_2(SO_4)_3$ y NaOH, adquiriendo una eficiencia de 71% en todo el proceso.

Por último, el empleo de aditivos para fines de **reutilización y recuperación** es uno de los más integrales ya que no solo buscan reducir sus impactos para ser utilizado a futuro, sino que hacen uso de sus mismos insumos lo que genera una economía circular. Por ejemplo, tenemos a Gallego (2011, p-107-118), que utiliza Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio y Polielectrolito para reutilizar, mediante precipitación de proteínas en las aguas de desencalado, encontrando que el $FeCl_3$ a 400 ppm recupera 20% del agua y logra 31,75% de eficiencia; un caso similar obtiene Calle, et al., (2018, p. 251- 252) con el uso de Sulfuro libre y Mixto mediante precipitación, el primero recupera hasta 54% de agua, con una eficiencia global de 48,6%. El caso más eficiente lo tiene Ayala, et al., (2018, p. 291-295) quienes trataron las aguas de varios procesos a través de precipitación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y removieron sulfuros en forma de ácido sulfhídrico (H_2S), así como recuperaron estos sulfuros con Hidróxido de sodio (NaOH) en forma de sulfato de sodio (Na_2SO_4), logrando remociones de hasta 100% en periodos de más de 90 minutos y recuperando sulfuro hasta valores de 216 mg/l, que son muy similares a las concentraciones iniciales que tenía, con lo que el proyecto tiene una eficiencia global de **98%**, haciéndolo el aditivo químico más eficiente.

Considerando que cada trabajo demanda un costo de operatividad que incluye los equipos usados en laboratorio para los análisis, así como de evaluación de la disponibilidad del aditivo, los costos se evaluaron en 4 escalas: Muy Alto (H), Alto (A), Medio (M) y Bajo (B), mientras que la disponibilidad estuvo determinado por 2 escalas: Fácil y Difícil. Se determinó que el promedio de costos para los aditivos químicos oscila entre muy alto y alto (H-A), además de ser de difícil oportunidad de acceso. Para el caso de los aditivos naturales su costo promedio resultó medio-alto (M-A), aunque de fácil oportunidad de acceso. En los

trabajos que optaron por combinar los dos aditivos el costo promedio oscila entre muy alto y alto (H-A), sin embargo, dependiendo del aditivo a usarse puede ser de fácil acceso. Lo que indica que los aditivos naturales son menos costosos y de mayor disponibilidad.

Es de gran importancia para la presente revisión, conocer el orden de eficiencia para los 22 trabajos revisados que han empleado aditivos químicos (Q), naturales (N) y la mezcla de ambos, es decir, mixtos (A), por lo que se tiene un orden del siguiente modo: $Q > A > N$ donde Ayala, et al. (2018, p. 286) tiene la mayor eficiencia con un 98% de con el uso de aditivos químicos (H_2SO_4 y NaOH) mediante el método de precipitación. Le sigue el trabajo de Borda (2014, p.6-7), que utiliza ambos aditivos para los métodos de precipitación y adsorción con cal y cáscara de naranja, obteniendo una eficiencia de 96,14% y por último el trabajo Hashem et al. (2018,p. 1395), que utiliza como aditivo al de tipo natural (comino), logrando una eficiencia de 91,12% mediante adsorción. Estos resultados responden con una eficiencia mayor al 90%, lo que denota una alta confiabilidad en la ejecución de los trabajos de investigación realizados. A su vez, la eficiencia promedio de cada aditivo, a fin de conocer qué tan viable resulta su uso, los aditivos químicos (Q) obtuvieron una media de 70,32%, para los naturales (N) 67,01% y para la mixta (A) un 83,57% de eficiencia, obteniendo un orden del siguiente modo: $A > Q > N$, que indica que haciendo un uso mixto puede ayudar a tener buenos resultados.

En el presente artículo de revisión sistemática, ha sido importante el conocer la eficiencia del uso de los aditivos químicos y naturales para responder a nuestra pregunta y objetivo inicial, encontrando que la eficiencia promedio de los 22 artículos revisados es de 73,63%, lo que demuestra que sí es eficiente y viable el uso de aditivos químicos y naturales para la reutilización de aguas de curtiembre, y dependiendo de los aditivos y métodos a utilizar se pueden lograr eficiencias de hasta 98% a costos medios y de fácil oportunidad de acceso. Dentro de algunas limitaciones encontradas, se menciona la antigüedad de publicación, debido a la existencia de artículos con buena información, pero no comprendidos en el periodo mínimo requerido para ser incluidos. Otra limitación hallada fue que no existe una gran cantidad trabajos orientados a tratar aguas residuales de curtiembre por lo que la base de artículos hallados para luego ser filtrados, no fue tan numerosa.

Finalmente se recomienda continuar con la experimentación de los artículos de revisión, a fin de brindar nuevas soluciones a las empresas de curtiembre, ayudando así a reducir las concentraciones de insumos y tratar el volumen de agua utilizado, enfocándose

en que más empresas opten por alternativas con el uso aditivos químicos y naturales para recuperar sus insumos o reducir la carga contaminante de sus efluentes, logrando de este modo conjunto la reutilización de sus aguas residuales, debido a la creciente demanda hídrica y a la escasez de este recurso, así como contribuir a procesos más amigables con el ambiente y la minimización de los impactos negativos que generan.

REFERENCIAS

- Abdulla, H., El-Bassuony, A., Kamal, E., y Mohamed, A. (2010). Chromium Removal from tannery wastewater using Chemical and Biological techniques aiming zero discharge of pollution. *Botany Department, Faculty of Science, Suez Canal University*. (1), p. 171-183.
- Ayala, J., León, A., Mahecha, L., y Ortiz, N. (2018). Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), p. 286-295. doi: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.36.2.10033>
- Benitez, N. (2011). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres. *Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales Ambiente y Sostenibilidad*. (1), p.25-31.
- Borda, P. (2014). Evaluación y reducción de los niveles de cromo en muestras de aguas residuales provenientes de curtiembres. *Revista USTA*, 5(1), p. 1-7. Recuperado de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1230>
- Calle, L., Fúquene, D., Manrique, J., y Yate, A. (2018). Reducción del Impacto ambiental del proceso de depilación en curtiembres Colombianas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), p.247-255. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.2197>
- Carmona, J. y Ortiz, N. (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*. 40(1), p. 117-126. DOI: 10.17151/luaz.2015.40.9

- Carreño, S. (2016). Diseño de Evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombia de Biotecnología*, 18(2), p.74-81. doi: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>
- Castañeda, Y., Cesare, M., Vargas, R. y Visitación, L. (2017). Evaluación y tratamiento de efluentes del remojo convencional y enzimático de pieles, por precipitación de proteínas y coagulación. *Revista Sociedad Química del Perú*. 82(4), p. 441-451.
- Cesare, C., Córdova, B., Flores del Pino, L., Vargas, P., y Visitación, F. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo. *Revista Sociedad Química del Perú*, 80(3), p. 183-191.
- Cubides, P. y Ramírez, J. (2014). Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Revista Mutis*. 4(2), p. 18-25.
- Dávila, T., Sanchez, N., Ordoñez, D., Muñoz J. y Benitez, R. (2017). Evaluación de Residuos Agroindustriales como Biofiltros: Remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 1(1), p. 49-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.18684/BSAA>
- Duarte, R., Jaramillo, C., y Olivero, V. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando Quitosan obtenido de desechos de camaron. *Dialnet*, 2(42), p.290-295.
- Gallego, M. (2011). *Caracterización y Tratamiento mediante membranas de las Aguas Residuales de Desencalado de una Industria de Curtidos para su Reutilización* (Tesis

de Maestría). Recuperada de Repositorio de la Universidad Politécnica de Valencia.

(<http://hdl.handle.net/10251/15826>)

Guzmán, K. y Luján, M. (2010). Reducción de emisiones de la etapa de pelambre en el proceso de curtido de pieles. *Acta Nova*. 4 (4),p. 464-492.

Hashem, A., Hasan, M., Momen, A., Nur-A-Tomal, S., y Sheikh, R.(2018). Chromium Removal from tannery wastewater using *Syzygium cumini* bark adsorbent. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. p. 1395-1404. DOI: 10.1007/s13762-018-1714-y

Marimón W., Tejada, C., Tejada, L. y Quiñones, E. (2015). Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*. 10(1). p. 9-21

Quiñones, E., Tejada, C., y Ruiz, V. (2014). Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 9(1), p. 25-42 Obtenido de: <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/>

Rameshraj, D., y Suresh, S. (2011). Treatment of Tannery Wastewater by Various Oxidation and Combined Processes. *International Journal of Environmental Research*, 5(2), p. 349-360.

Ravello, M. (2017). *Evaluación Técnica-Económica, al recuperar y reutilizar el cromo en efluentes de curtiembre rebaza, minimizando el impacto ambiental negativo* (Tesis de Maestría). Recuperado de Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12519>)

Ríos C., Rodríguez, Y., Salinas L., y Vargas L. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. (10)1. p, 146-156.

Tasneembano, K., y Arjun, V. (2013). Treatment of Tannery Wastewater Using Natural Coagulants. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(8). p, 4061-4068. Recuperado de http://www.ijirset.com/upload/august/29A_Treatment.pdf

Umbarila, O., Agudelo, V., y Prado, R. (2019). Remoción de sulfuro empleando ozono como agente oxidante en aguas residuales de curtiembres. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(51), p.25-38. doi: <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n51.2019.9081>