



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Biosorción de Metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cáscaras de *Citrus limonium*”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Irvin Arlinst Valverde Rodriguez

Asesor:

Dra. Mariela Núñez Figueroa

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

En esta nueva aventura universitaria está dedicada profundamente a mis padres Wilmer y Maritza por ser ejemplo de lucha, a ellos por todo su apoyo incondicional que me han brindado y aún siguen haciéndolo, por haberme soportado tanto tiempo, a pesar de las adversidades que poco a poco van quedando en el pasado.

A mis abuelos Lidia y Bernardo, al viejo por sus enseñanzas y se te extraña mucho estés donde estés, directo a la inmortalidad.

A mi hermano Wilmer por sus ánimos que me dio para seguir estudiando; a mi cuñada Ingrid a mis sobrinos Sebastián y Dafne por ser la alegría de la casa.

A Diana Sifuentes por todo su apoyo y amor incondicional que hasta la fecha me brinda, desde el día que la conocí, tú eres la más linda casualidad que me ha podido pasar en la vida. Espero tu pronto retorno ve a cumplir tus sueños.

Disculpen si me olvido de mencionar a alguien.

¡GRACIAS POR TODO!!!!

AGRADECIMIENTO

A los amigos del Laboratorio Regional del Agua, en especial al señor Freddy López León por el apoyo y en el procesamiento de las muestras y las ideas brindadas, a seguir adelante a pesar de las trabas de la vida.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	12
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	22
CAPITULO IV: DISCUSIÓN.....	31
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Etapas de selección de la información.....	13
Tabla N° 2. Etapas de selección de la información para Googlea académico.....	14
Tabla N° 3. Etapas de selección de la información para U.P.N	15
Tabla N° 4 Etapas de selección de la información para U.N.C	16
Tabla N° 5. Algunos artículos que se incluyeron en esta investigación.....	17-18-19
Tabla N° 6. Algunos artículos que se excluyeron en esta investigación.....	20-21
Tabla N°7. Artículos científicos relacionados a la biosorción con cascara <i>Citrus limonium</i>	25
TablaN°8. Características cualitativas del mecanismos de bioadsorcion de metales pesados.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: cantidad de documentos seleccionados en la etapa de selección.....	17
Figura N°2. Etapas de selección de la información.....	23
Figura N°3. Año de publicación de algunos documentos analizado.....	26
Figura N°4. Artículos publicados sobre biosorción de metales pesados usando cascara de limón. (Cantidad de artículos / año de publicación).....	28
Figura N° 5. Comparación métodos convencionales y bioadsorción para remoción de metales pesados (cantidad de artículos / año de publicación).....	29
Figura N° 6. Porcentaje de remoción entre cascara de limón y toronja.....	29
Figura N° 7. Porcentaje de remoción me metales con cascara de limón.....	30
Figura N° 8: portal de búsqueda de Google académico.....	38
Figura N° 9: portal de búsqueda de Universidad Nacional de Cajamarca.....	38
Figura N° 10: Repositorio de la Universidad Privada del Norte.....	39

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se estudió el proceso de la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos, es un proceso que utiliza biomasa viva o muerta, para retirar o inmovilizar estos iones metálicos de un medio líquido o sólido; se ha estudiado en detalle desde los años 70. Se ha logrado un amplio conocimiento acerca de los mecanismos físico – químicos del proceso, llevando actualmente las investigaciones a la transformación genética de microorganismos para la optimización del proceso de biosorción. Esperando tener resultados muy favorables al momento de realizar esta investigación cumpliendo con los objetivos planteado.

Podemos concluir mencionando que los documentos revisados señalan que la cáscara de cítrico puede ser utilizada como material para la biosorción de metales pesados, bien sea a una escala industrial o a una escala menor (en los hogares). Esto conllevaría a una descontaminación de los drenajes ácidos, evitando la contaminación de los recursos hídricos.

PALABRAS CLAVES: Biosorción, Drenaje Acido, Residuos sólidos, cascara *Citrus limonium*.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina es considerado como uno de los principales contaminantes del agua en muchos países con actividades mineras históricas o en operación. Corso, R. (2015).

Los drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre. Debido al elevado coste que representa el tratamiento en depuradoras convencionales, es necesario buscar una solución a este problema. (Aduvire, 2006).

La búsqueda de nuevos materiales y técnicas utilizables como alternativa para el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos industriales y de minería se ha constituido como un desafío de los últimos tiempos. (Muñoz, y Tapia, 2007).

(Alessio, 2003). Entre muchas técnicas tales como la floculación, la precipitación filtración, la flotación y la extracción con solventes disponibles hoy en día, la biosorción es una tecnología que puede ser usada en los procesos “limpios” de remediación ambiental, para recuperación de metales y descontaminación de aguas residuales contaminadas con iones de metales pesados, el uso de biomasa no vivas evita problemas de contaminación porque se pueden regenerar y el uso de estos materiales biosorbentes no son costosos.

El término biosorción se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta) a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva los mecanismos metabólicos de captación también pueden contribuir en el proceso. El proceso involucra una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente es agua) que contiene las especies disueltas que van a ser adsorbidas (sorbato, en iones metálicos). (Acosta, Cárdenas, y Martínez, 2012).

El interés en la investigación del uso de materiales naturales o residuales como adsorbentes ha aumentado, tanto en materiales orgánicos como en inorgánicos, que son abundantes y tienen bajo o nulo costo. (Volesky, y Holan, 1995).

El uso de materiales de origen biológico se ha considerado una alternativa para la remoción y/o recuperación de metales, y se basa en las propiedades de secuestro metálico de ciertos materiales naturales; esta propiedad es conocida comúnmente como biosorción. (Naja, Mustin, Volesky, y Berthelin, 2006).

Entre los tipos más prometedores de biomasa estudiada se tienen aquellos frutos que contienen pectina tales como los cítricos. De los citados frutos se extrae la pectina por diversos procedimientos químicos. (Untiveros, 2002).

Las pectinas nativas son moléculas complejas que se encuentran en las paredes celulares y en las láminas intercelulares de las plantas superiores. Algunas pectinas son solubles en agua y otras como las proto pectinas no lo son. Aunque todas las plantas contienen pectina, su composición y calidad de la misma varía según la fuente, el método de obtención y los factores del medio. (Dronnet, y Thibault, 2015).

Nuestro país es un gran productor de cítricos y derivados, sin embargo, sus residuos no se utilizan en toda la potencialidad que deberían ya que se utilizan como aditivos alimenticios pero la gran mayoría se desperdicia. (Benavente, y Aguirre, 2015).

Por tal motivo el presente trabajo de investigación, se formuló el siguiente problema ¿Cuál es el análisis de la capacidad de biosorción de Metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cascara de *Citrus limonium*?

Y como objetivo general se plantea analizar la capacidad de biosorción de Metales pesados mediante el uso de cascara de *Citrus limonium* aplicado a drenaje ácido. Seguidamente mencionamos los objetivos específicos: Analizar las características de la cascara de *Citrus limonium* en la biosorción en drenaje ácido; Analizar el tiempo de contacto para una mayor biosorción, Analizar las características del tamaño de la cáscara de *Citrus limonium* en la biosorción en drenaje ácido.

Hoy en día la necesidad del sector Industrial ha conllevado a buscar nuevas tecnologías y alternativas de solución se sabe que la minería obtiene miles de litros de drenaje ácido de sus diferentes procesos que realizan estos drenajes tienen las características de tener metales pesado y tener un pH bajo. El presente trabajo busca tener un gran interés en las Agroindustrias y pequeñas empresas (cebicherías, restaurantes, juguerías) dedicadas a este rubro que en su línea de proceso se obtenga como residuos de cascara de *Citrus limonium*, teniendo así una buena gran alternativa ya que esta cascara cuenta con las propiedades de poder biosorción de metales pesados.

Esta investigación se realiza con la finalidad ver cuan es efectiva es la cascara de *Citrus limonium* para remover los metales pesados en los drenajes ácidos mediante el método de la bioadsorción a escala de Laboratorio.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Una revisión sistemática es un proceso metodológico que nos permite recopilar información acerca de un tema en específico que es la Biosorción de Metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cáscaras de *Citrus sinensis*.

En primer lugar, se realizó la búsqueda de artículos científicos con las palabras “Biosorción de metales pesados”, “cascara de cítrico” y “Cascara de *Citrus limonium*”, tanto en español como en inglés en la Biblioteca Virtual Universidad Privada del Norte, Universidad Nacional de Cajamarca y en buscadores como Google Académico y las Bibliotecas Virtuales Scopus, Web of Science, Scielo, Redalyc y EBSCO desde 1995 hasta la actualidad. Como producto de esta indagación se obtuvieron 60 investigaciones.

La selección de los artículos consto de dos fases: una de exclusión y otra de depuración. En la primera de ellas, se eliminaron aquellos trabajos que no fueran empíricos y que no midieran, las palabras clave utilizadas para la búsqueda. Se descartaron los que no se relacionaban o vinculan directamente con la estructura de la investigación, los que fueran de corte cualitativo o mixto, las revisiones sistemáticas y los metaanálisis, así como los artículos que carecieran de resumen. Bajo la consideración de todos los criterios anteriores, solamente se seleccionaron 25 que hablan de la biosorción de metales pesados utilizando Cascara de *Citrus sinensis* y cascara de cítrico.

En segundo lugar, por último, se plasmó que los artículos seleccionados deberían alcanzar, primordialmente, algún indicador como que biosorción de metales

pesado con cascara de *Citrus limonium*, se eligieron 10 investigaciones, de las cuales nos sirvieron como base de desarrollo para poder concluir esta investigación.

Para poder determinar la cantidad de información entre artículos, revistas y tesis se procedió a realizar un proceso de selección que consiste en tres etapas: Preselección, Selección primaria y selección definitiva en siguiente gráfico se detalla las etapas.

Tabla N° 1. Etapas de selección de la información.

Preselección	Selección Primaria	Selección Definitiva
Empleó de palabras claves	Se realizó la lectura completa de	
Lectura y Resúmenes	toda la información obtenida.	Recolección de toda la información necesaria para la elaboración de la investigación.
Metodología	Aplicación de criterios de inclusión y exclusión	

Fuente: elaboración propia.

En las etapas de selección de información se consideró una estrategia de búsqueda que consiste en el empleo de recursos, palabras claves, criterios de selección y criterios de exclusión. Para buscar hallazgos de forma digital se emplearon portales de búsqueda, de ellos

algunos nos permiten un acceso. Y mediante palabras claves se realizó la búsqueda de la información.

Los criterios principales de exclusión son las publicaciones en inglés e información que no muestren una fuente de información confiable. En el siguiente grafico se explica cada uno de los criterios considerados.

Tabla N° 2. Etapas de selección de la información para Google académico.

Herramientas virtuales	Palabras clave	N° Artículos científicos	%
Google académico	-Biosorción de metales pesados.	15	50.00 %
	-cascara de cítrico	10	33.34%
	-Cascara de <i>Citrus limonium</i>	5	16.66%
	Total, de artículos científicos revisados	30	100%

Fuente: elaboración propia.

En esta fuente se utilizaron las palabras claves que guardan relación con Biosorción con cascara de *Citrus limonium*). Se utilizaron filtros de tesis y artículos para poder simplificar la búsqueda. En tal trabajo se encontraron bastante información, pero se dio

prioridad a la información más semejante al tema de investigación para facilitar nuestro proceso de selección.

Tabla N° 3. Etapas de selección de la información para Universidad Privada del Norte.

Herramientas virtuales	Palabras claves	N° de Artículos Científicos	%
Repositorio Universidad Privada del Norte	-Biosorción de metales pesados.	10	62.5 %
	-cascara de cítrico	4	25%
	-Cascara de <i>Citrus limonium</i>	2	12.5%
Total, de artículos científicos revisados		16	100%

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, los resultados obtenidos, se han excluido algunos artículos encontrados en las herramientas virtuales donde la metodología no mantenía relación a la información que se necesitaba para la investigación realizada, los resultados hallados no mantenían una relación con lo que se buscaba para la investigación.

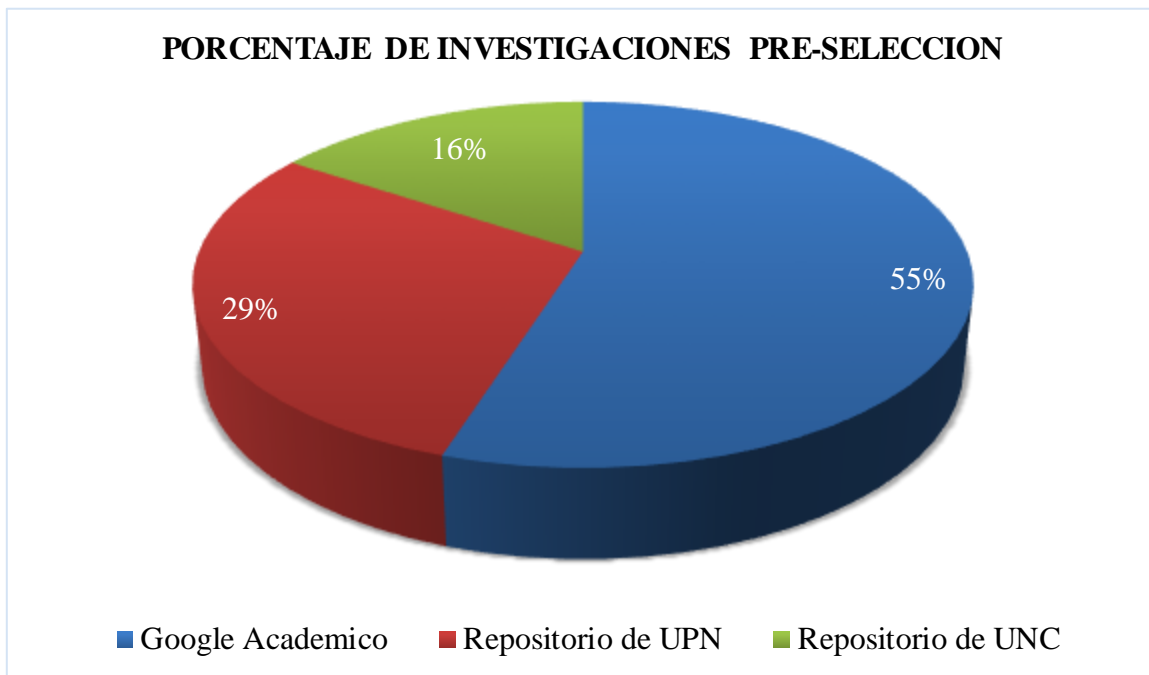
Tabla N° 4. Etapas de selección de la información para Universidad Nacional de Cajamarca.

Herramientas virtuales	Palabras claves	N° de Artículos Científicos	%
Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca	-Biosorción de metales pesados.	3	60.00 %
	- cascara de cítrico	1	20.00%
	-Cascara de <i>Citrus limonium</i>	1	20.00%
Total, de artículos científicos revisados		5	100%

Fuente: elaboración propia.

Repositorio de la Universidad nacional de nacional de Cajamarca publican artículos y tesis que se desarrollan en el país y cual son de gran aporte para más investigaciones. Las palabras claves utilizadas arrojaron muchas investigaciones que algunas no guardan relación con la investigación emprendida. La estrategia de selección de información utilizada fue la de similitud y confiabilidad con el tema de investigación.

Figura N° 1: cantidad de documentos seleccionados en la etapa de selección.



Fuente: elaboración propia.

Recuerde que los criterios de inclusión y exclusión debe redactarlos en un párrafo tipo ensayo y de manera específica.

Tabla N° 5. Algunos artículos que se incluyeron en esta investigación.

Fuente	Título	Metodología	resultados	Motivo de Inclusión
Marshall, R. y Espinosa, Joao. (2016)	-Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y	-Se realizó una activación de la cascara de cítrico para un mayor resultado.	-Tiene buena afinidad estos metales pesados la cascara de cítrico.	-La razón por la cual se incluyó esta investigación hace uso de las cascara de limón haciendo comparación con otra. Siendo agua sintética dándole las características necesarias

	Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas.			para poder tener similitud a las aguas residuales.
Pérez, L. (2013)	-Estudio comparativo de la cáscara de toronja, limón y mandarina como bioadsorbentes de cromo trivalente y plomo divalente.”	-Se realizo la pulverización de la cascara de cítrico y posterior activación con HCL y NaOH para una mayor biosorción.	-Se obtuvo resultados alentadores y tuvo buena afinidad con el cromo.	-se selección esta investigación ya que hace una comparación de la cascara de limón con otros biosorbentes y así vamos a tener mayor tema de discusión de resultados.
Algarra, J. (2015)	-evaluación de un filtro con biomasa (cascara de limón mandarina; citrus- limonia) para remoción de cromo III presente en solución acuosa.	-Se realizo la selección, secado de la cascara y posterior molienda para poder usarlo en biosorción de cromo.	-Se obtuvieron resultados muy buenos datos de biosorción para cromo III con la cascara de cítrico.	-se logró agenciar de esta investigación por que hace comparación con otro cítrico.
Armijo, J. Rivera, D. y Mallma, G. (2009)	Biosorción de Cr (VI) por cascara de limón, Citrus limonium, modificada	-selección de materia prima cascara de limón proceso de secado, proceso de activación de la pectina y contacto con el	Los ensayos realizados nos demuestran que el cromo VI se adhiere a la cascara de	-esta revista nos proporciona un alcance más cercano a la realidad de nuestra investigación es por ello que se tuvo en cuenta,

			agua contaminada.	
--	--	--	----------------------	--

Corté, R., Rojas, M., Díaz, M., Cortés, C. (2010)	Biosorción de azul brillante FCF en cascara de limon modificadas con hierro.	La activación de los residuos de la cascara de limón se realizó mediante hierro para poder adsorber FCF.	Mediante la activación con cascara de limón y con un tiempo de contacto de 18 horas nos arroja resultados alentadores	Nuevamente entra a tallar la cascara de Limón la cual nos demuestra que tiene propiedades de biosorción.
--	--	--	---	--

Villanueva, C. (2006)	Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia (palmeta de nopal)	La cascara antes ser utilizadas fueron activadas con cloruro de calcio para mayor estabilidad,	La biosorción para naranja fue de 36,10 mg/g, para limón 47,04 mg/g y 44,04 mg/g para nopal.	Este artículo nos arroja un elevado resultado de biosorción para cascara de Limón por encima de la cascara de naranja por tal motivo se tomó en cuenta para reforzar esta investigación.
----------------------------------	---	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6. Algunos artículos que se excluyeron en esta investigación

Fuente	Título	Metodología	resultados	Motivo de Exclusión
Alvarado, H. (2017)	-Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con <i>Citrus cinensis</i> en efluente minero del CP. Tambillo – Cajamarca, 2017”	-Se realizó la experimentación con agua sintética y se tuvo contacto con la cascara por tiempos diferentes con diferentes tamaños de partículas.	-Se estudio en tiempo y tamaño de partícula. Se obtuvieron buenos resultados obteniendo un 95.12 % de remoción.	-Nos hace mención de biosorción con cascara de naranja es también cítrico, pero se busca el biosorbente que es la cascara de Limón.
Martínez, L. y Huamán, J. (2019)	-Influencia del tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con <i>Chlorophyta sensu lato</i> en drenaje ácido de mina”	-Se utilizo algas marinas para la biosorción previa con activación con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico.	-La utilización de Chlorophyta en esta investigación obteniendo una eficiencia del 86.02% como remoción.	-no se tomó en cuenta por que se está usando como biosorbente un alga marina que es muy diferente a a la finalidad de la investigación.

Salas, G. (2018)	-Tiempo de contacto y pH de la cáscara de granadilla en la biosorción de zinc en aguas del río grande – Quiruvilca”	-Se extrajo agua del río el cual se puso en contacto con la cascara en tiempos diferentes y pesos también.	-Se obtuvo resultados de para Zinc con un 99.96% de remoción en un tiempo de 24 horas.	-no se tomo en cuenta por que usa otro tipo de biosorbente el cual se usara en esta investigación.
Ramírez, M. (2016)	Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cascara de naranja de las aguas de la laguna Colquicocha.	Se realizó el proceso de secado de la naranja para estar en contacto con el agua de la laguna.	Se obtuvieron resultado de 66,87% y 53,97% de remoción de aguas de una laguna	No se asemeja a nuestra investigación ya que habal de laguna y cascara de naranja.
Coronel, I. (2016)	Influencia del pretratamiento fisicoquímico en la velocidad, eficiencia y capacidad de biosorción de plomo (II) en cascara de naranja (citrus cinensis)	El procedimiento fue el de secado y activación de la cascara tratada para mayores resultados.	Se obtuvieron resultados favorables de hasta un 90% de metales pesados con cascara de naranja activada.	Esta investigación no habla de la cascara de naranja, como biosorbente.

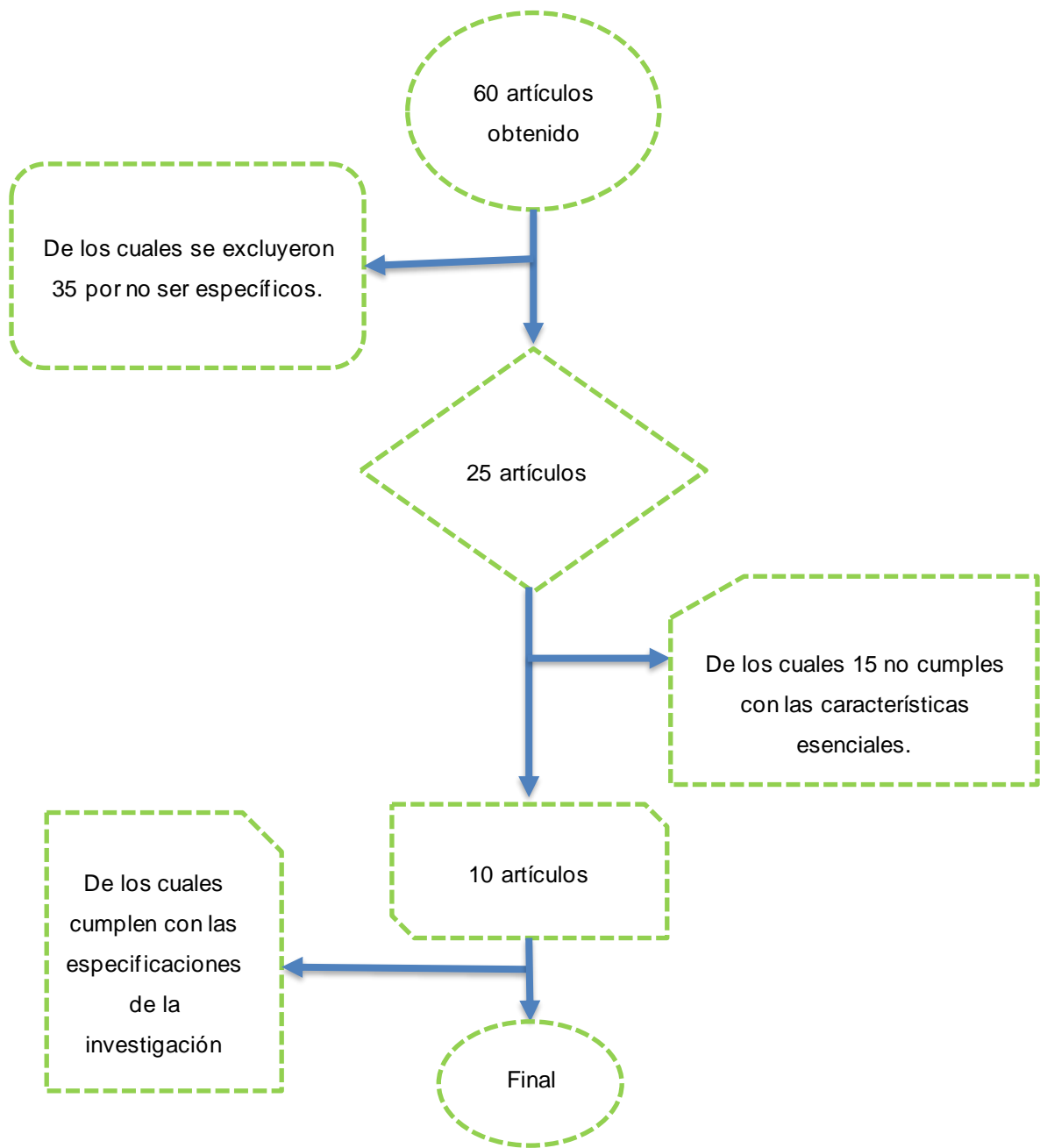
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Como se mencionó en la metodología se identificó 60 artículos de investigación, que nos arrojó por medio de las palabras claves y que nos ayudara al desarrollo de nuestra revisión sistemática, de los cuales 35 artículos que nos arrojó el buscadores con la palabra de biosorción de metales pesados con diferentes organismos (cascaras de diferentes frutos y también sus pepas; algas marinas, hongos, bacterias) de lo cual se descartó por habla de manera general; posterior mente se procedió a buscar en la biblioteca virtual de la Universidad Privada de Norte también se logró obtener 15 artículos científicos que tienen como palabra clave la cascara de cítrico en la cual entra a tallar la cascara de naranja y de limón de la cual se depuro la cascara de naranja y obtenido un resultado final de 10 investigaciones que son a fin de esta para poder desarrollar plenamente la propuesta de investigación.

Para determinar la cantidad de información entre artículos y tesis se empleó un proceso de selección que consiste en tres etapas: Preselección, Filtro y selección definitiva en siguiente gráfico se detalla las etapas.

Figura N°2. Etapas de selección de la información.



Fuente: Elaboración propia

En la tesis de Marshall, R. y Espinosa, Joao. (2016) tiene como objetivo es Determinar la capacidad de biosorción de metales pesados que tienen las cascaras de cítricos deshidratadas (Toronja y Limón). Este trabajado de investigación se basó en secar y moler la cascaras de limón y toronja triturándolos y colocándolos en soluciones de plomo y mercurio a 20 ppm durante un tiempo de residencia de 48 horas. Tomando cantidades variables de biosorbente (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, 2.0 g y 3.0 g) y el tamaño de la partícula (630 y 315 μm).

se obtuvo como resultados para la cascara de limón con un 96.08% con 1.5 g de cascara y un 98.58% con 3.0 g para la biosorción de Mercurio.

La investigación analizada demostró que la cascara de limón tiene gran afinidad para poder usada como biosorbente de metales pesados como el Mercurio y este análisis nos servirá de base para poder discutir más adelante.

En la tesis de Laura, V. (2018) se trabajó con 3 cascaras diferentes (Limón, naranja y mandarina). La cascaras antes fueron pretratadas de seleccionaron, lavadas, secadas, trituradas y desmetóxicadas con (NaOH) y finalmente se activó todas sus propiedades que posee con cloruro de calcio (CaCl_2).

Obteniendo como resultado final un 43.13% y 40.89 % de metales pesados en un proceso de biosorción de la cual posteriormente se discutirá con esta investigación.

En la revista Armijo, J. Rivera, D. y Mallma, G. (2009). En esta investigación se trabajó con cascara de *Citrus limonium*, lo que se hizo fue de activar esta cascara en una primera etapa llamada desmetoxilacion mediante una solución de hidróxido de sodio 0.2 M y la segunda etapa consistió en activa sus propiedades con una solución de bicloruro de calcio 0.2 M; obtenidos así resultados satisfactorios para biosorción de Cromo VI removiendo un 75% de su concentración.

Hoy en día los residuos orgánicos están teniendo un interés para la ciencia la cual están usando al máximo sus propiedades para poder ser usados en la biosorción de metales pesados.

Tabla N°7 Artículos científicos relacionados a la biosorción con cascara *Citrus limonium*.

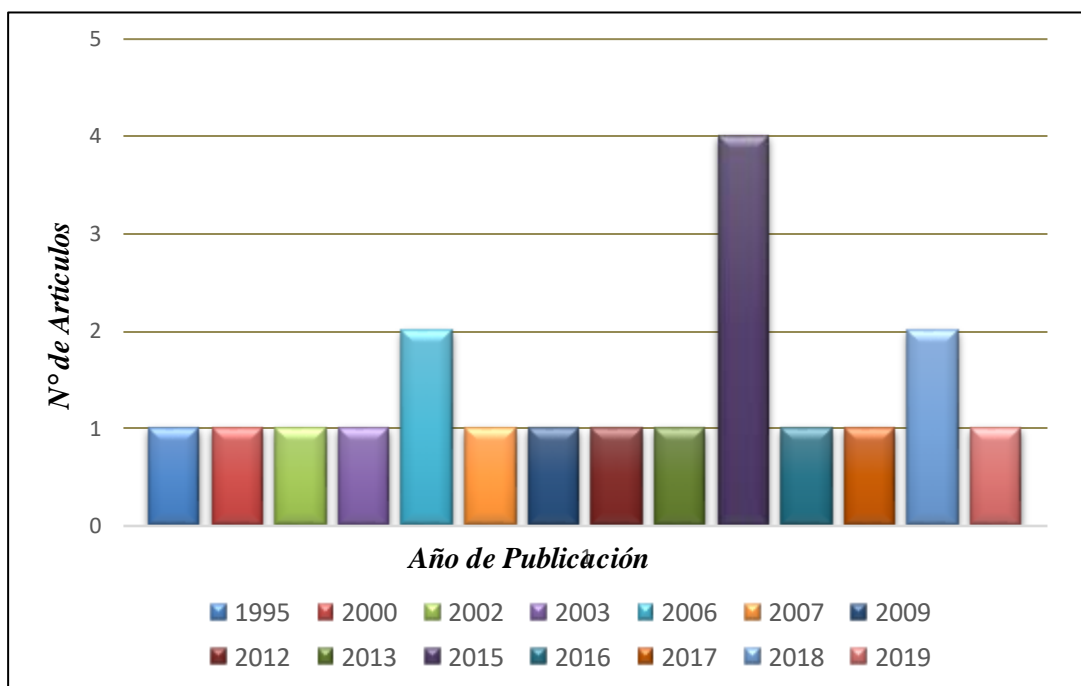
Fuente	Tipo de estudio	Año	País	título
Marshall, R. y Espinosa, Joao	Tesis	2016	Ecuador	Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas
Laura, V.	Tesis	2018	Perú	Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina
Armijo, J. Rivera, D. y Mallma, G.	Revista	2009	Perú	Biosorción de Cr (VI) pro cascara de limón, Citrus limonium, modificada.

Fuente: Elaboración

Características del estudio

Las características de los artículos seleccionados se buscaron usando las palabras claves biosorción de metales pesados, cascara de limón, cascara de *Citrus limonium*, el tiempo de elaboración de las investigaciones vario desde 1995 hasta la actualidad. Los artículos cumplen con todas las características necesarias para poder desarrollar la investigación presente.

Figura N°3. Año de publicación de algunos documentos analizados.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el grafico los años que más prevalecen son del 2015 donde se hicieron un mayor número de publicaciones referente a la biosorción se llegaron a publicar 4 artículos.

Características cualitativas del mecanismo de remediación de metales pesados, es por ello que se optó por la biosorción de metales pesados usando residuo como biomasa (cáscara de limón) para poder tratar drenajes ácidos.

Tabla N°8. Características cualitativas del mecanismo de bioadsorción de metales pesados.

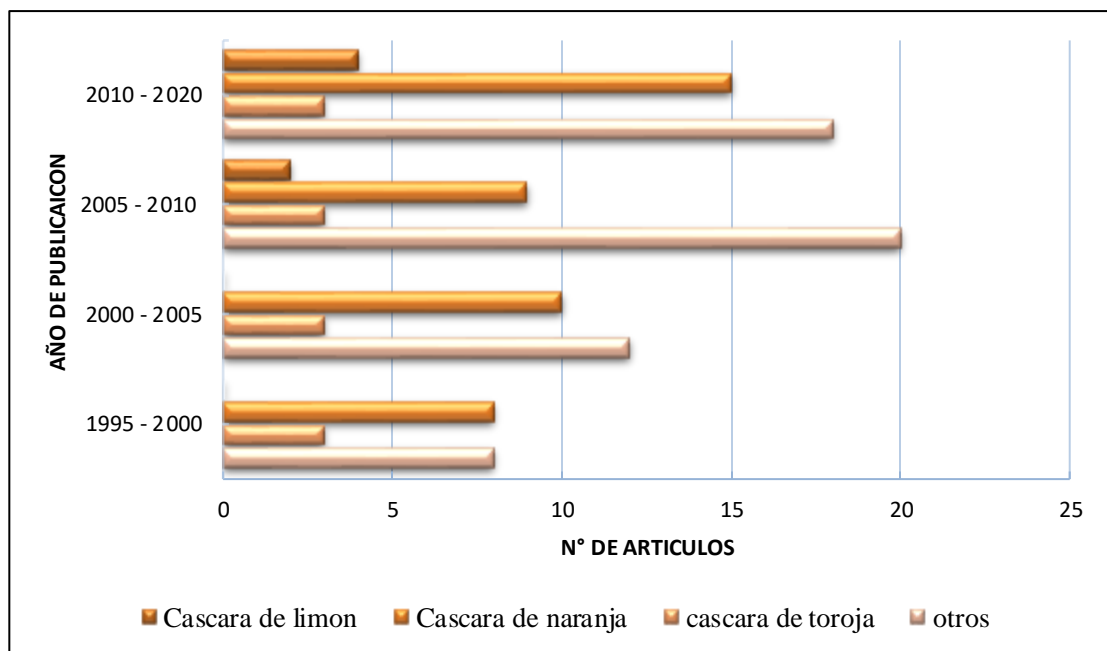
Bioadsorción
Proceso pasivo
Biomasa sin vida
Metales unidos a la superficie de la pared celular
Proceso reversible
No requiere nutrientes
Rápido
No es controlado por el metabolismo
No se ve afectado por el efecto tóxico de los contaminantes
No hay crecimiento celular
Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes
Posibilidad de recuperación y reúso de los contaminantes mediante un proceso de desorción
La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción

Fuente: (Plaza, 2012)

La bioadsorción es una de las alternativas de tratamiento de aguas residual más eficientes, debido a los bajos costos de implementación y mantenimiento en relación a los tratamientos tradicionales de recuperación de metales pesados en efluentes acuosos.

Cantidad de artículos que relacionaban la biosorción de metales pesados que con el tiempo se han llegado a desarrollar con diferentes biomásas utilizando cascara de cítricos entre ellas limón, naranja, toronja y otras que tienen afinidad positiva con el tema a realizar.

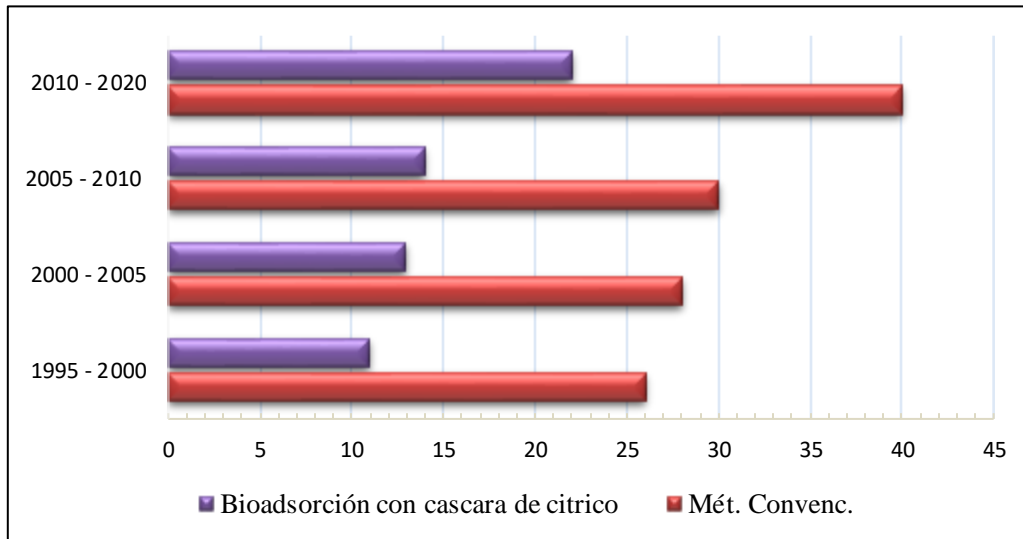
Figura N°4. Artículos publicados sobre biosorción de metales pesados usando cascara de limón. (Cantidad de artículos / año de publicación)



Fuente: Elaboración propia

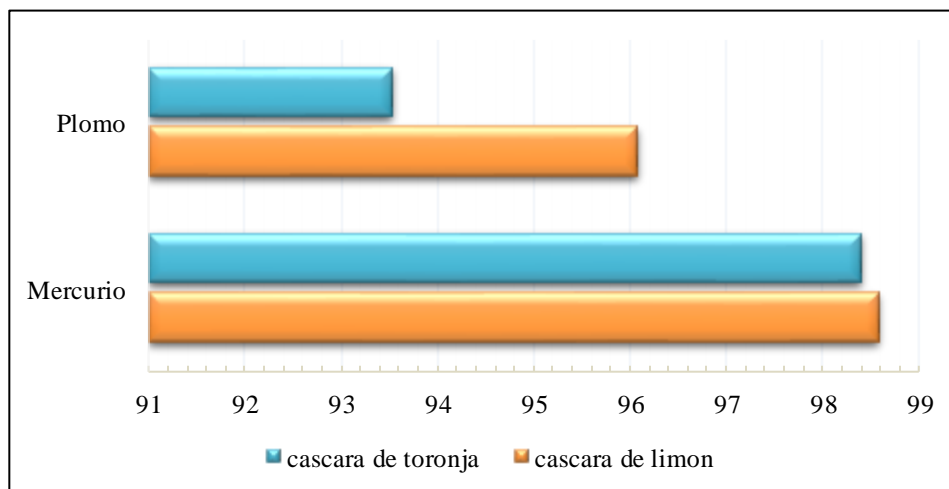
Además se buscó la cantidad de artículos relacionando el tipo de método usado para su adsorción. Los resultados arrojados por este tipo de búsqueda fueron clasificados teniendo en cuenta que fueran de los años comprendidos entre el 1995 hasta la actualidad, con el fin de identificar la tendencia investigativa de la remoción de metales pesados

Figura N° 5. Comparación métodos convencionales y bioadsorción para remoción de metales pesados (cantidad de artículos / año de publicación)



Fuente: Elaboración propia.

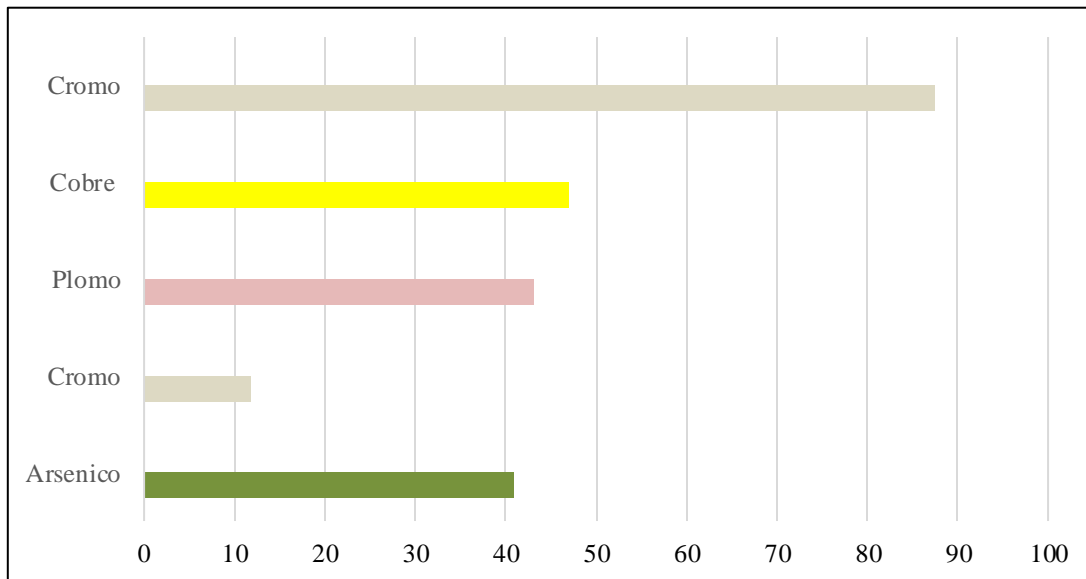
Figura N° 6. Porcentaje de remoción entre cascara de limón y toronja.



Fuente: Elaboración propia

Marshall, R. y Espinoza. J. (2016) hicieron comparación entre cascara de toronja y cascara de limón tiene afinidad elevada para la plomo y mercurio así s logra apreciar en el gráfico.

Figura N° 7. Porcentaje de remoción me metales con cascara de limón.



Fuente: Elaboración propia.

A partí de las investigaciones de Laura, V. (2018), Villanueva, C. y Tapia, N. (2005), que realizaron ensayos de biosorción usando cascara de limón se logro identificar que también tiene afinidad por cobre, arsénico, cromo y este último hay diferentes porcentajes de afinidad ya que se realizaron con diferentes tipos de agua acida.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Luego de revisar los diferentes estudios, investigaciones, tesis, etc., se puede tener un panorama de mayor amplitud respecto al trabajo de investigación realizado y al objetivo planteando en este estudio. Se han tomado en cuenta investigaciones sobre biosorción usando cascara de *Citrus limonium*, los conocimientos adquiridos por toda la información recopilada sirven para comprender los diferentes procesos innovadores, el cómo poder aprovechar al máximo un residuo sólido como la cáscara de *Citrus limonium* que se puede originar en cualquier hogar del país, y que tiene la característica de biosorción ciertos metales pesados por afinidad.

La revisión sistemática es importante como el punto de partida para planificar, organizar y desplegar la revisión de artículos científicos encontrados de manera virtual. Los estudios analizados en esta revisión fueron encontrados en las bibliotecas virtuales, las cuales se mencionan: Google académico, Repositorio Universidad Privada del Norte.edu.pe, Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca.edu.pe. En dichos espacios virtuales de encontraron un total de 60 documento de investigación de los cuales se seccionaron, por citar algunos ejemplos: remoción

Marshall, R. y Espinoza. J. (2016) nos hace un estudio comparativo con dos biosorbentes cascara de cítrico como lo son el limón y toronja, para tratar aguas sintéticas que contengan Plomo y Mercurio. Las cascaras se procedieron a pulverizar hasta llegar a un tamaño de partícula de 630 y 315 μm y se tuvo contacto por un tiempo de 48 horas. También se trabajó con diferentes cantidades de biosorbente. Se llegó a obtener resultado para la cascara de toronja del 93.54% de biosorción de plomo utilizando 3.0 g de biosorbente y 98.40% de mercurio se recuperó; para la cascara de limón se obtuvo resultados de 96.08% y

98.58% de biosorción de plomo y mercurio respectivamente utilizando 1.5g y 3.0g de cascara de limón.

Pérez, L. (2013) nos a conocer la metodología a seguir para poder realizar nuestro experimento y poder llegar obtener buenos resultados con la cascara de citrico en ella nos hace mencion a la cascara de limon.

Por su parte Algarra, J. (2015) nos menciona del uso de cascara de limon usada como filtro para la remosion de cromo III en solucion acuosa. Hizo varios ensayos con diferentes pesos de biosorbentes llegando a obtener una remosion de hasta en un 87.5% con un pH 5 en un itmepo de 120 minutos.

Villanueva, C. (2006) hizo comparacion entre cascara de naranja, limón y nopal. Como primer procedimiento fue la activacion de las cascaras, dicha activacion fue con Cloruro de calcio para una mayor estabilidad. En esta investigacion de se obtuvo 47.04 % para la cascara de Limón para cobre.

En la revista Villanueva, C. y Tapia, N. (2005), realizan la investigación sobre biosorción de Cu (II) usando biomasas que contengan pectina. En esta oportunidad la cascara de limón obtuvo un 46.95 % de remoción de este metal pesado.

Laura, V. (2018), Trata aguas del rio chili que contienen As, Pb, Cr, tratándolas con pectina de cascara de naranja, limón y mandarina. Las cascaras fueron desmetóxiladas con NaOH y para luego ser reticuladas con solución de Cloruro de Calcio; con respecto a la pectina de limón se obtuvieron resultados de 40.89% arsénico, 11.76% de cromo y plomo el 43.13% de remoción.

Se pudo observar que en todas las investigaciones revisadas tienen se logran obtener buenos resultados para la biosorción de metales pesados utilizando cascara de limón, la gran mayoría de investigadores antes de poner en contacto la cascara con el agua hacen la activación de la

misma para poder alcanzar el máximo rendimiento de sus propiedades la cual es la pectina que sirve como adherente a la cascara. Muchos investigadores trabajaron con aguas acidas, aguas sintéticas y aguas de rio, pero todas lograron llegar a un porcentaje de remoción satisfactorio de metales pesado.

REFERENCIAS

- Acosta, I., Cárdenas, J. y Martínez, I. (2012), *El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados en sitios contaminados*, Ideas, CONCYTEG, 7(85), pp. 911 – 922. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>
- Aduvire Osvaldo. (2006). *Drenaje Acido en Mina Generación y Tratamiento*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España. Recuperado de http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Alessio L. (2003). *Human biological monitoring of industrial chemicals-series*. Luxembourg, Commission of the European Communities. Pág. 107. Recuperado de <http://aei.pitt.edu/43233/1/A7159.pdf>
- Algarra, J. (2015) *Evaluación de un filtro con biomasa (cascara de limón mandarina; citrus-limonia) para remoción de cromo III presente en solución acuosa*. (tesis de titulación). Universidad Libre de Colombia, Colombia-Bogotá. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18100/1/401-1208%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20poder%20biosorbente%20de%20las%20c%C3%A1scaras%20de%20c%C3%ADtricos.pdf>
- Alvarado H. (2017) *Efecto del tiempo de residencia y tamaño de partícula en la reducción de plomo mediante bioadsorción con citrus cinensis en efluente minero del C.P. Tambillo – Cajamarca, 2017*. (tesis de titulación) Universidad Privada del Norte. Cajamarca-Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13239>
- Armijo, J. Rivera, D. y Mallma, G. (2009) *Biosorción de Cr (VI) pro cascara de limón, Citrus limonium, modificada*. *Rev.Per. Quim.Ing. Vol.12 N°1, 2009 -45-51*.
Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/319144872_Adsorcion_de_metales_pesados_en_aguas_residuales_usando_materiales_de_origen_biologico

Benavente, M., & Aguirre, G. (2015). *Evaluación de la biomasa de poblaciones de Lessonia trabeculata (Phaeophyta, Laminariales) del Puerto de Ilo, Perú*. Iquique: Rev. Invest. Cient. Tecnol 3. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14354/Vasquez%20Mendoza%20Pedro%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Coronel, I. (2016) *Influencia del pretratamiento fisicoquímico en la velocidad, eficiencia y capacidad de biosorción de plomo (II) en cascara de naranja (citrus sinensis)*. (tesis de titulación) Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. Recuperado de: http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9001/CoronelRomero_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corso, R. A (2015) *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, Distrito de San Mateo de Huanchor, Lima* (Tesis de Posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6160>

Cortés, R., Rojas, M., Diaz, M., Cortes, C. (2010) *Biosorción de azul brillante FCF en cascara de limon modificadas con hierro*. Mar del norte N°.5, col. San Alvaro Azcapotzalco C.P.02090, Mexico, D.F. Recuperada de: <https://docplayer.es/15607805-Sesion-ii-aprovechamiento-de-residuos-agroindustriales-y-biorremediacion.html>

Dronnet, V., & Thibault, J. (2015). *Binding of divalent metal cations by sugarbeet pulp*. American Chemical Society. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952013000200003

Laura, V. (2018) *Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con pectina obtenidos a*

- partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina.* (tesis de maestría) Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Arequipa-Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6884>
- Marshall, R. y Espinoza. J. (2016) *Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas.* (tesis de titulación), Universidad de Guayaquil, Guayaquil- Ecuador. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>
- Martínez, L. y Huamán, J. (2019) *Influencia del tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con Chlorophyta sensu lato en drenaje ácido de mina.* (tesis de titulación) Universidad Privada del Norte. Cajamarca-Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23089>
- Muñoz, J. y Tapia, N. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus cinensis" pretratada* (Tesis de pregrado inédita). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/391/Mu%C3%B1oz_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Naja, G., Mustin, C., Volesky, B., & Berthelin, J. (2006). *Stabilization of the initial electrochemical potential for a metal-based potentiometric titration study of a biosorption process.* *Chemosphere*, 62(1), 163–170. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.055>
- Pérez, L. (2013) *Estudio comparativo de la cáscara de toronja, limón y mandarina como bioadsorbentes de cromo trivalente y plomo divalente.* Propuesta de investigación feria de ciencias e ingenierías estado de mexico. Recuperado de

<https://profesanchezuest.files.wordpress.com/2015/02/protocolo-adsorcic3b3n-cc3adtricos.pdf>

Ramírez, M. (2016) *Bioadsorción de cobre, cadmio y manganeso con cascara de naranja de las aguas de la laguna colquicocha*. (tesis de titulación) Universidad Nacional del Callao. Lima – Perú. Recuperado de

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1733/Michael_Tesis_T%c3%adtuloprofesional_2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salas, G. (2018) *Tiempo de contacto y pH de la cáscara de granadilla en la biosorción de zinc en aguas del río grande – Quiruvilca*. (tesis de titulación) Universidad Privada del Norte. Trujillo-Perú. Recuperado de

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14974>

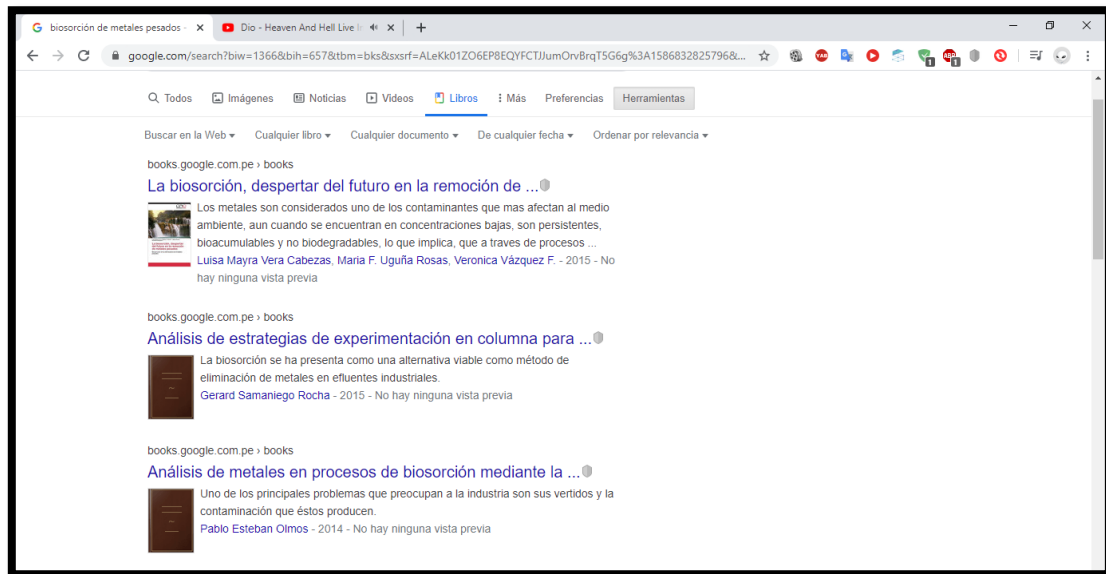
Untiveros, G. (2002). *Obtención y Caracterización de las pectinas de alto y bajo metoxilo de la Manzana variedad Pachacamac*. (Tesis para optar el grado de magister). Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima- Perú. Recueprado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1952/Lopez%20Gamarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villanueva , C. (2006) *Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal)*, (tesis de titulación), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2112>

Volesky, B y Holan, Z. (1995). *Biosorption of heavy metals. Review Biotechnology Progress*. Vol. 11 N. 3 pp. 235- 250. Recueprado de <https://biosorption.mcgill.ca/publication/PDFs/101-BP%2795-11.235-50-RevHolan.pdf>

ANEXOS

Figura N° 8: portal de búsqueda de Google académico.



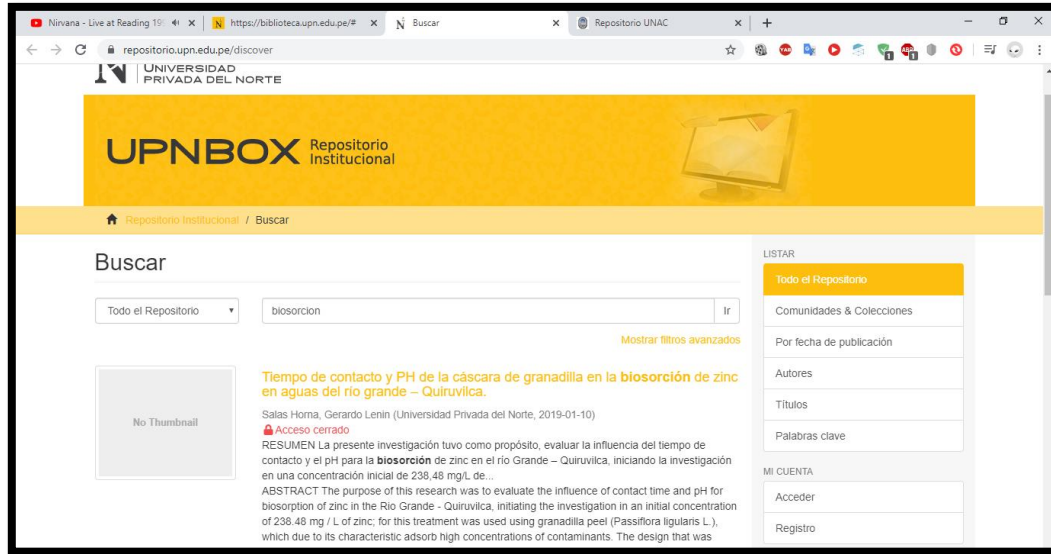
Fuente: sistema de información de Google académico.

Figura N° 9: portal de búsqueda de Google académico.



Fuente: Sistema de información repositorio unc.edu.pe

Figura N° 10: Repositorio de la Universidad Privada del Norte.



Fuente: Sistema de información repositorio upn.edu.pe