



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Residuos agroindustriales pretratados y su capacidad de remoción de
metales pesados en aguas residuales industriales

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Salomón Anticona, Wendy Xiomara (ORCID: 0000-0003-0497-9554)

Ulloa Aranda, Augusto Reyser (ORCID: 0000-0001-8630-124X)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Salomón Anticona Wendy:

De manera especial a mis padres Miguel Salomón e Irma Anticona, por estar en todo momento motivándome constantemente a seguir mis sueños, por inculcarme buenos valores y por apoyarme económicamente en todos estos años. A mis hermanos por su amor y apoyo incondicional.

Ulloa Aranda Augusto:

A mis padres Teófilo Ulloa y Alejandrina Aranda pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, por el apoyo incondicional y la motivación constante para lograr mis objetivos, por los consejos brindados y sobre todo por estar siempre en los momentos que más lo necesito, muchos de mis logros se los debo a ustedes. A mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día tras día en el transcurso de mi carrera universitaria.

Agradecimiento

Salomón Anticona Wendy:

En primer lugar, a Dios por guiarme en todo momento, por las fuerzas para superar los obstáculos y por permitirme gozar de salud, a mis padres y hermanos por su amor incondicional, su aliento para salir adelante y no rendirme ante cualquier dificultad para hacerme una persona de bien, y a mis formadores profesionales por los conocimientos brindados a fin de convertirme en una buena ingeniera ambiental.

Ulloa Aranda Augusto:

En primera instancia agradezco a Dios por darme la salud, sabiduría y fortaleza en todo momento y permitirme llegar a culminar mi carrera con éxito. A mis padres por el apoyo incondicional durante todo el proceso de mi carrera. A mis hermanos Denis, Joel y Julissa por el amor y comprensión brindada todo este tiempo. A mi asesor el Dr. José Alfredo Cruz Monzón, por la orientación, comprensión y enseñanzas brindadas para la realización de esta tesis.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	12
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización	12
3.3. Escenario de estudio	13
3.4. Participantes	13
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.6. Procedimiento.....	14
3.7. Rigor científico	18
3.8. Método de análisis de datos	18
3.9. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	43
ANEXOS	54

Índice de tablas

Tabla 1: Conectores de búsqueda	14
Tabla 2: Bases de datos y palabras clave	15
Tabla 3: Residuos agroindustriales pretratados	21
Tabla 4: Pretratamientos aplicados a los residuos agroindustriales.....	26
Tabla 5: Factores influyentes en la remoción de metales pesados	31
Tabla 6: Técnicas eficientes para la remoción de metales pesados	37

Índice de figuras

Figura 1: Plataformas de búsqueda (bases de datos).....	16
Figura 2: Seguimiento de la selección de artículos	17
Figura 3: Artículos por año publicados en bases de datos consultadas.....	20
Figura 4: Mejor eficiencia de los grupos de residuos agroindustriales	23
Figura 5: Máximos valores de los pretratamientos físicos.....	28
Figura 6: Máximos valores de los pretratamientos químicos.....	29
Figura 7: Factores físicos de mayor relevancia	33
Figura 8: Factores químicos de mayor relevancia.....	35
Figura 9: Técnicas de remoción	39

Resumen

La polución del recurso hídrico por metales pesados y la acumulación de residuos agroindustriales se han convertido en un problema muy significativo, ya que generan graves impactos en el medio ambiente. El objetivo fue analizar el uso de los residuos agroindustriales pretratados en la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales. La investigación fue de tipo básica descriptiva cualitativa de diseño no experimental, basada en una revisión sistemática de artículos científicos extraídos de bases de datos como Scielo, Redalyc, ProQuest, ScienceDirect, Scopus, Dialnet, Ebsco y Gale OneFile. Asimismo, fueron obtenidos 30 artículos aplicando criterios de selección en el intervalo de enero de 2016 hasta diciembre de 2020. Los resultados muestran que los tipos de residuos agroindustriales como las cáscaras de plátano, naranja, cacao y granadilla pertenecientes al grupo de “Frutos” tienen mejor capacidad de remoción presentando valores entre 88.2% a 99.5%, el pretratamiento químico mostró la mayor eficiencia, siendo más relevante el factor químico, finalmente la técnica de adsorción química presentó mejores resultados. Se concluye que, el uso de residuos agroindustriales por sus características muestra un alto potencial en la mitigación de metales pesados, así como el aprovechamiento de estos, considerando también que es una alternativa económicamente viable.

Palabras clave: Revisión sistemática, residuos agroindustriales, remoción, metales pesados, aguas residuales.

Abstract

The pollution of the water resource by heavy metals and the accumulation of agro-industrial waste have become a very significant problem, since they generate serious impacts on the environment. The objective was to analyze the use of pretreated agro-industrial waste in the removal of heavy metals in industrial wastewater. The research was of a basic descriptive qualitative non-experimental design, based on a systematic review of scientific articles extracted from databases such as Scielo, Redalyc, ProQuest, ScienceDirect, Scopus, Dialnet, Ebsco and Gale OneFile. Likewise, 30 articles were obtained applying selection criteria in the interval from January 2016 to December 2020. The results show that the types of agro-industrial waste such as banana, orange, cocoa and granadilla peels belonging to the group of "Fruits" have better removal capacity presenting values between 88.2% to 99.5%, the chemical pretreatment showed the highest efficiency, the chemical factor being more relevant, finally the chemical adsorption technique showed better results. It is concluded that, due to its characteristics, the use of agro-industrial waste shows a high potential in the mitigation of heavy metals, as well as the use of these, also considering that it is an economically viable alternative.

Keywords: Systematic review, agro-industrial waste, removal, heavy metals, wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es vital e indispensable para el desarrollo de la vida y los distintos procesos biológicos en los ecosistemas, pese a ello la contaminación del recurso hídrico se ha convertido en un problema muy significativo, ya que genera efectos negativos en el medio ambiente y afecta directamente a los ecosistemas acuáticos, terrestres, así como en la salud de las personas, (Medellín, et al., 2017, p. 2).

El agua residual proveniente de las industrias contiene metales pesados que intervienen de forma negativa en la salud de las personas pues su capacidad es única y rápida para transmitir enfermedades (Howe y Hand, 2017, p. 5). La solubilidad de los metales pesados en el recurso hídrico es demasiado tóxica y tienden a acumularse en el organismo de los seres vivos (Govin, et al., 2020, p. 197). “Debido a su movimiento en el medio ambiente y su nivel de toxicidad son considerados contaminantes inorgánicos muy significativos, este problema se presenta con más frecuencia en el territorio central del país y es difícil tratar el recurso contaminado, puesto que el costo es más elevado para las empresas que se encargan de su tratamiento” (Villena, 2018, p. 23).

La economía en el Perú depende mayormente de la minería, debido a que aporta el 20% de los ingresos, contribuyendo aproximadamente el 15% del PBI nacional y el 60% proveniente de las exportaciones. Además, el Perú se encuentra entre los primeros productores de plomo, cobre, zinc, oro, plata, etc. (MINEM, 2019, p. 1).

Otra de las actividades que impacta negativamente al medio ambiente es la de producción de cueros curtidos, aunque hasta la fecha se ha evidenciado el descenso de esta actividad, considerando la existencia de 60 curtiembres y que aproximadamente la mitad se encuentran en la región Lima, cuya producción es constituida respectivamente por el 75% y 60% de bovinos, caprinos y ovinos, esta actividad contamina descontroladamente el recurso hídrico por la presencia de cromo residual en sus efluentes (Huamani, 2016, p. 2).

Por esa razón, existen métodos aplicativos de adsorción de iones metálicos, por medio de la precipitación, ósmosis inversa e intercambio iónico, pero suelen ser de alto costo para su operación y mantenimiento; es por ello que, se ha dado sentido al método práctico para la adsorción de estos metales empleando materiales

agroindustriales pretratados, ya que esta técnica es eficaz y viable económicamente (Guadalupe, et al., 2017, p. 55).

Por otro lado, la acumulación de residuos agroindustriales se ha convertido en una preocupación mundial, debido a que la producción alimenticia va en aumento causando mayor demanda de residuos de frutas, hortalizas, entre otras especies que generan grandes cantidades de residuos agroindustriales, ya que suelen ser materia prima para otros sectores productivos por sus componentes (Chuquilin y Rosales, 2016, p. 50). En la mayoría de los casos los residuos agroindustriales no son aprovechados simplemente son desechados en vertederos, basureros, quebradas o ríos, sin un tratamiento previo contribuyendo al daño de los ecosistemas y medio ambiente (Cury, et al., 2017, p. 125).

Además, en el año 2015 los residuos sólidos agroindustriales generados en el Perú fueron de 7,588, 647 toneladas, siendo el 64.8% provenientes de residuos domiciliarios, mientras que el resto fue proveniente de industrias, comercios, etc. Se considera que el sector industrial genera 77681 toneladas de residuos agroindustriales por año (Ministerio de producción, 2018). Por ello, debido a su viabilidad, bajo costo y por ser altamente eficientes para la remoción de metales pesados se buscó emplear los residuos agroindustriales utilizando la técnica de bioadsorción que incluye la transmisión selectiva de uno o más solutos en estado líquido de un lote de partículas sólidas en materiales biológicos e involucra la participación de diversos factores físicos y químicos (Dávila, et al., 2017, p. 51).

Si bien es cierto que, para poder utilizar los residuos agroindustriales o también llamados “biomasas” estos pasan por un proceso de lavado, secado, trituración, tamizado, activación o modificación química, en otros casos es incinerado o carbonizado; sin embargo, no todos los trabajos lo hacen de esta manera, ya que en muchos casos sólo realizan el lavado, secado, trituración y tamizado, obteniendo resultados favorables (Guadalupe, et al., 2017, p. 57).

Debido a la revisión de la literatura científica se planteó el siguiente problema, ¿Qué residuos agroindustriales pretratados muestran mayor capacidad para remover metales pesados en aguas residuales industriales y que han sido reportadas en literatura científica de acceso libre?

La justificación del proyecto pretende mostrar la utilidad de una revisión sistemática, la cual es muy importante porque contiene la síntesis, análisis y recopilación de información de calidad, confiable y sobre todo trabajos referidos a la temática de estudio. Asimismo, la importancia de esta investigación radica básicamente en la contribución académica, social y ambiental.

En el aporte académico, el estudio recopiló información actual, verídica y relevante de artículos indexados mostrando el análisis e interpretación de diversas investigaciones, de tal manera permita tener un panorama más claro de las investigaciones y la efectividad de los distintos residuos agroindustriales.

En el ámbito social y ambiental, el estudio fomenta la mitigación de metales pesados presentes en aguas residuales industriales mostrando las formas más eficientes de utilizar los residuos agroindustriales atenuando múltiples impactos, lo cual beneficia en la salud de las personas, ecosistemas, el recurso hídrico y medio ambiente. Asimismo, muestra a las industrias la mejor forma de tratar sus aguas contaminadas con metales pesados haciendo uso de los residuos agroindustriales, los cuales muchas veces tienden a ser desechados, sin embargo, suelen ser económicamente viables. Por tal motivo, el estudio beneficia a las personas, profesionales o industrias que requieren de esta investigación y construcción del conocimiento mediante fuentes confiables.

Este trabajo de investigación estuvo basado en evidencias científicas de bases de datos indexadas, la cual tuvo como objetivo general analizar el uso de los residuos agroindustriales pretratados en la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales. Asimismo, como objetivos específicos basados en evidencias científicas de bases de datos indexadas tenemos, evaluar los tipos de residuos agroindustriales que presentan mejor capacidad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales; evaluar los pretratamientos de los residuos agroindustriales que muestran alto grado de eficiencia de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales; evaluar los factores de mayor relevancia en la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales usando residuos agroindustriales pretratados y finalmente evaluar las técnicas más eficientes para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales con residuos agroindustriales pretratados.

II. MARCO TEÓRICO

Un primer trabajo corresponde a Thompson, Ndukwe y Asadu (2020), quien realizó la “Aplicación de residuos de biomasa activada como adsorbente para la eliminación de iones de plomo (II) de las aguas residuales”. Se propuso evaluar la aplicación de biomasa activada como alternativa a los adsorbentes comunes para eliminar plomo (II) de aguas residuales. Se realizó estudios de adsorción por lotes, para ello se incineró la biomasa a 800 °C antes de activarla químicamente, asimismo se trabajó con 50 mg/L de muestra contaminada con plomo (II), se utilizó 0,3 g de biomasa cada 30 ml a 60 °C por un tiempo de 80 min y un pH de 7,6. Se obtuvo como resultado Como resultado se obtuvo 50,1 mg/g como adsorción al emplear cáscara de yuca, 46,6 mg/g de cáscara de maní y 38,5 mg/g de cáscara de ñame. Concluyendo que, la cáscara de yuca demostró que tiene un potencial mayor que el resto de biomásas, ya que eliminó un 86,83% de iones de Pb (II).

Por otra parte, Tejada, Villabona y Ruiz (2016), en su investigación sobre “Adsorción de Ni (II) por cáscaras de ñame (*Dioscorea Rotundata*) y bagazo de palma (*Elaeis Guineensis*) pretratadas”. Cuyo objetivo fue evaluar la adsorción de níquel (II) utilizando residuos orgánicos como cáscara de ñame y bagazo de palma de la región Caribe colombiana. Se realizó en un sistema por lotes con 100 mg/L de níquel (II) como concentración inicial. Se trabajó con un pH 6, tiempo de contacto 120 min, velocidad 150 rpm y 40 g de biomasa; por otra parte, el modelo que se ajustó mejor fue de Elovich teniendo como resultado según la isoterma de Langmuir una capacidad de adsorción de 103,3; 58,7; 68,14 y 47,93 mg/g al emplear cáscara de ñame y bagazo de palma modificadas químicamente y no modificadas correspondientemente. Concluyendo que la que remueve mejor el níquel es la cáscara de ñame modificada.

Según, Tejada, Montiel, et al., (2016), en su investigación “Aprovechamiento de Cáscaras de Yuca y Ñame para el Tratamiento de Aguas Residuales Contaminadas con Pb (II)”. Tuvo como objetivo realizar la evaluación del comportamiento de los residuos orgánicos que se emplea en la adsorción del Pb (II) en aguas residuales, el estudio se realizó por el incremento de la concentración de iones metálicos en aguas residuales, ya que es un riesgo significativo para el medio ambiente y las personas. Se trabajó con tamaño de partícula en rango de 0.5 a 1mm, con pH 6 y

se utilizó 40 g de bioadsorbente en 200 ml de solución, se empleó espectroscopia de adsorción atómica para determinar la remanencia del metal mostrando un porcentaje de remoción de 78.5% y 96% para la cáscara de yuca y ñame respectivamente. Concluyeron que, las biomásas que se modifican químicamente con ácido cítrico se pueden usar para tratar aguas contaminadas con metales pesados.

Por otro lado, Mohubedu, et al., (2019), en su estudio titulado “Valorización magnética de biomasa y biocarbón de una típica molestia vegetal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales tóxicos”. Cuya finalidad fue preparar una valoración magnética rentable de los bioadsorbentes de biocarbón y la biomasa bruta que provienen de frutos de bellota residual para eliminar Plomo (II) y Cadmio (II) en agua sintética, emplearon el método de adsorción batch a una concentración de 100 mg/L del contaminante, utilizaron 20 mg de biosorbente en 50 ml, un pH 6 y 7, tiempo de contacto 180min, temperatura 36,85 °C a 200 rpm. Como resultado se obtuvo una capacidad de adsorción de 63,6 mg/g de Pb (II) y 21 mg/g de Cd (II) con respecto a la bellota residual y 58,2 mg/g de Pb (II) y 21,3 mg/g de Cd (II) respecto al biocarbón de bellota. Concluyeron que, el biocarbón es un adsorbente prometedor, ya que adsorbió gran parte de ambos metales.

En tal sentido, Jamoussi, et al., (2020), en su investigación titulada “Eficiencia de Acacia Gummifera polvo como biosorbente para la descontaminación simultánea de agua contaminada con metales”. El objetivo del trabajo fue evaluar la adsorción de plomo y cadmio utilizando Acacia Gummifera en un sistema batch. Trabajaron con 100 mg/L de muestra, tiempo de contacto 2 h, temperatura 29,85 °C y pH 6,5. De acuerdo a los resultados la eficiencia de remoción fue de 97% para el plomo y 86% para el cadmio. Concluyeron que, la biomasa Acacia Gummifera es un biosorbente eficiente y de bajo costo que podría ser una alternativa viable para tratar efluentes contaminados con plomo y cadmio.

Asimismo, Vizcaíno, et al., (2017), en su trabajo “Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*”. Cuyo objetivo fue evaluar el volumen y cuán efectiva es la remoción de metales en soluciones acuosas, utilizando a los tallos y hojas de Jacinto de agua. Realizaron este estudio, ya que es muy común encontrar metales pesados en el agua en agua residual, lo cual

afecta su composición química del agua. El proceso que realizaron en laboratorio fue la calcinación de la biomasa, llegando a obtener una remoción de plomo superiores a 97%, Concluyeron que, la biomasa obtenida es eficiente para remover plomo.

Por otro lado, Vera, et al., (2018), cuyo trabajo de investigación “Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción de cadmio (II) y plomo (II) con cáscara de cacao”. Tuvo como objetivo, determinar la capacidad de adsorción de Pb y Cd empleando dos residuos orgánicos agroindustriales, trabajando con tamaño de partícula de un 1mm y el secado de la biomasa a 50-60°C por 24 horas y utilizado una dosis de biomasa de 10mg/L a pH 5; los sistemas utilizados fueron mono y bicomponentes. El resultado obtenido fue de 2.12mL/min a través de la columna y la remoción fue de 91% para Plomo (II) y 90% para cadmio (II) con sistema monocomponente y 88% para plomo (II) y 90% para cadmio (II) en el sistema bicomponente, concluyendo que los residuos de cáscara de cacao es una alternativa eficiente para tratar agua empleado columnas de lecho fijo para adsorber Pb (II) y Cd (II).

Además, Botello, et al., (2019), en su estudio “Modelización de intercambio iónico de la adsorción competitiva de Cu (II) y Pb (II) utilizando residuos de café sólidos químicamente modificados”. La intención de este estudio es plantear un modelo de intercambio iónico a fin de que adsorba simultánea en la solución el Plomo (II) y Cobre (II), empleando residuos de café que ha sido modificado químicamente en sistema por lotes. Se preparó 30 g de bioadsorbente y se utilizó 40 mg a 40 ml de solución a 30 °C, con un tamaño de partícula de 1mm, se agitó a 200 rpm, el instrumento que emplearon fue el agitador orbital. De acuerdo con la capacidad de adsorción los resultados fueron de 1,46 meq/g para el Cu (II) y 1.18 meq/g para el Pb (II). Concluyeron que, el residuo de café fue capaz de eliminar Cobre (II) y Plomo (II) en sistemas binarios e individuales.

Según, Tejada, González y Villabona (2019), en su estudio “Caracterización de biomásas residuales y su aplicación para la eliminación de iones de plomo de solución acuosa”. Cuyo objetivo fue la evaluación de la capacidad de las cáscaras de yuca, banano, ñame y bagazo de palma aceitera en la adsorción del Plomo; asimismo, para conservar el medio ambiente se aborda la eliminación de metales

pesados en el agua. Se combinó 100 ml de solución de plomo (II) a 100 ppm con 0.5g de biomasa, agitación de 200 rpm a temperatura 30°C y tamaño de partícula 1 mm con pH 6. Las pruebas de adsorción según su eficiencia fueron superiores al 80% YP, BP y CP, lo cual indica que estas biomásas tienen una buena captación de iones de plomo, por último, su indagación denotó que los desechos lignocelulósicos son efectivos en la remoción de Pb.

En tal sentido, Medellín, et al., (2017), denominado “Bioadsorción de plomo (II) presente en solución acuosa sobre residuos de fibras naturales procedentes de la industria ixtlera”. Tuvo por objetivo evaluar la potencialidad de la lechuguilla y yuca que proceden de la industria para la remoción de iones de plomo (II). El plomo tiene un efecto negativo en el agua y también es conocido por ser un metal tóxico. Se secaron las biomásas en una estufa a 80°C en 24 h y el tamaño de partícula utilizada fue 0.7 milímetros, por otro lado, se agregó 0.2 g de cada biomasa en 50 ml a 300 rpm por 15 min a pH 5. La lechuguilla fue la más eficiente al remover 93.9%, seguido de la palma samadoca a 83%; concluyendo así que ambas especies son altamente viables para remover Pb (II).

Por otro lado, Espinosa, et al., (2020), en su estudio sobre la “Adsorción de Cadmio (II) y Plomo (II) presentes en solución acuosa con hueso de nanche (*Byrsonima crassifolia*)”. Su objetivo fue evaluar la eficiencia que tiene el hueso de nanche en la adsorción de iones de cadmio y plomo en soluciones acuosas. Pesaron 0,3 gramos de biomasa y mezclaron NaOH 1,0 M HCl en 20 mililitros cada uno por separado con una agitación de 120 min, a 25°C. En frascos de 100 ml se hicieron diferentes concentraciones, se agregó 50 ml de los diferentes solventes, resultando una remoción de 84% a pH 8 para el cadmio y un 82% para el plomo a pH 5. Concluyeron que, los sitios funcionales y la variación del pH son de mucha importancia al eliminar iones metálicos trabajados.

En ese mismo contexto, Elhafez, et al., (2017), en su investigación “Gestión de residuos agrícolas para la eliminación de metales pesados de una solución acuosa”. Tuvo como finalidad evaluar si la cáscara de arroz es capaz de adsorber Cobre (II) en solución acuosa y determinar las condiciones óptimas para la bioadsorción. Su concentración inicial fue de 150 ppm, se empleó 1g de adsorbente, el tamaño de partícula 0,25 mm, con pH 4 a 25 °C por 60 min a 180 rpm. Como resultado del

porcentaje de eliminación de iones de cobre fue de 74,51%. Concluyeron que, la cáscara de arroz es eficaz para la adsorción del Cu (II), asimismo se observó su máxima capacidad de adsorción al aumentar la dosis y la temperatura.

Entonces, Ruiz, et al., (2019), en su estudio “Remoción de Níquel II y Cromo VI en solución acuosa usando adsorbentes de origen agroindustrial”. Cuyo objetivo fue estudiar los procesos para adsorber metales pesados usando bioadsorbentes obtenidos de subproductos agroindustriales como pulpa de almidón de plátano, ñame y bagazo de palma aceitera. Trabajaron con 100 ppm de concentración y un caudal de 0,75 ml/s. En sus resultados obtenidos la capacidad de remoción más alta fue 49,58 mg/g para el cromo utilizando bagazo de palma y 28,004 mg/g para el níquel con el residuo del almidón de ñame y plátano. Concluyendo que, la altura del lecho y temperatura afectan al adsorber cromo con cáscara de plátano y la altura del lecho al adsorber níquel con cáscara de ñame y bagazo de palma.

Igualmente, Gallo, et al., (2018), en su estudio llamado “Adsorción competitiva de níquel y plomo sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo”. Cuya finalidad fue evaluar la capacidad de adsorber níquel y plomo usando bagazo de palma y cáscara de ñame. Asimismo, los biomateriales utilizados se calcinaron y se modificaron de forma química con ácido cítrico 0.6 M, se preparó a 100 ppm las soluciones y como resultados se alcanzó una eficiencia de adsorción de un 92.58 mg/g de níquel y 98.04 mg/g de plomo. El modelo de Thomas fue el que funcionó mejor para la adsorción de níquel al usar los dos materiales. Concluyeron que, ambos biomateriales son buenos bioadsorbentes y muy eficaces para remover plomo y níquel.

Como indica, Hamidpour, et al., (2018), en su investigación “Eliminación de cadmio (II) y plomo (II) en solución por residuos de casco de pistache”. Cuya intención fue remover cadmio y plomo utilizando polvo de cáscara de pistache. Se utilizaron diversos modelos para precisar la capacidad de adsorción, en donde la mejor capacidad fue en el modelo de Freundlich con 4.7 L/g para el plomo y 0.99 L/g para cadmio, en la cual se aumentó el pH de 5.5 a 6.5 en la solución, concluyendo que el biomaterial convertido en polvo es muy eficiente para la eliminación del Cd y Pb en solución, asimismo esto depende mucho del cambio de pH.

Es así como, Castro, et al., (2020), en su estudio “Modificación química de bioadsorbentes a base de desechos agroindustriales para la eliminación mejorada de iones de Zn (II) de soluciones acuosas”. Tiene por objetivo evaluar la modificación química de las cáscaras de fruta como naranja, plátano y granadilla, con la finalidad de obtener bioadsorbentes nuevos que mejoren la remoción de Zn (II). En una concentración de 50 ppm se utilizó hidróxido de sodio y acetato de calcio para modificar las cáscaras de fruta, asimismo se empleó 1g de bioadsorbente en 100ml de solución con una agitación de 150 rpm por 240 min con pH 5. Los resultados más eficientes para las cáscaras fueron, 92,57% de plátano, 97,13 de naranja y 88,21% de granadilla. Concluyeron que, la mejor eficiencia para la eliminación de iones de Zn (II) es la cáscara de naranja especialmente cuando se aumentó la dosis del bioadsorbente.

No obstante, Campos, et al., (2018), en su estudio titulado “Material adsorbente a base de desechos de maracuyá para eliminar plomo (Pb), cromo (Cr) y cobre (Cu) de aguas contaminadas con metales”. Cuyo propósito fue evaluar la eficiencia del material adsorbente de desechos de maracuyá para la eliminación de Pb, Cu y Cr en aguas que están contaminadas. La dosis fue 10 g de biomasa por litro, la concentración se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, el residuo agroindustrial obtuvo una buena capacidad de adsorción, ya que removi6 96% = Pb, 93% = Cr y 82% = Cu; el modelo que se ajust6 mejor fue Freundlich; concluyendo que, debido a los resultados obtenidos lograron eliminar m6s de un 80% de iones met6licos.

De acuerdo a las teorías relacionadas con la investigación se tuvo los siguientes estudios:

Jacobo (2018, p6g. 267), menciona que el agua residual es una de las principales fuentes contaminantes que interactúan con el medio ambiente y que a su vez afecta en la salud de las personas u otros seres vivos y produce impactos negativos a los ecosistemas, ya que este líquido muchas veces es utilizado para regar cultivos, elaborar comida, beber, etc. Así mismo, funciona como un medio de transporte para transferir enfermedades y epidemias, algunos ejemplos vienen a ser el cólera, influenza, influenza aviar, ébola, virus del Zika, fiebre amarilla, entre otros.

Además, Londoño (2016, pág. 150), afirma que los metales pesados son componentes naturales que están presentes en la capa superficial de la corteza terrestre; sin embargo, a estos no se les puede alterar ni destruir fácilmente como tampoco degradarse por sí solos, sin embargo, suelen ser incorporados en el cuerpo en concentraciones pequeñas por medio de los alimentos, agua y aire, de tal manera que en concentraciones mucho más altas estos pueden producir un envenenamiento. Por otro lado, los suelos contaminados por metales pesados son considerados como toxinas bioacumulativas persistentes, esto representa un riesgo evidente para todo ser vivo.

Los residuos orgánicos agroindustriales son biomateriales los cuales se utilizan para tratar aguas contaminadas con metales pesados, para realizar dicho tratamiento estos biomateriales son pretratados. “Los biomateriales son expuestos en tratamientos físico o químicos, los cuales son muy fáciles de tratar y de bajo costo, la finalidad de esta aplicación es mejorar la eficiencia en la adsorción y remoción que tienen estos biomateriales para la neutralización y recuperación de metales pesados en aguas residuales industriales” (Tejada, Villabona y Garcés, 2015, pág. 115).

Asimismo, Valladares, et al. (2017, pág. 64), infiere que los residuos orgánicos agroindustriales, son materiales de origen vegetal de naturaleza estrictamente orgánica y muchas de ellas son empleadas como alternativas para adsorber metales pesados. Asimismo, debido a sus características que poseen muchas de estas biomásas reportan elevados valores de adsorción de metales pesados, debido a su rendimiento como material adsorbente.

Las biomásas residuales actúan como bioadsorbentes de los metales pesados, ya que cuentan con diversos elementos que remueven o atraen los iones de los metales pesados, “los metales extraídos por las biomásas residuales se dan por los carbohidratos, proteínas y por sus factores fenólicos, los cuales tienen grupos hidroxilo, carboxílico, fosfatos, sulfatos y amino, debido a esto presenta una gran atracción de iones metálicos, lo cual favorece su captación” (Tejada, Villabona y Garcés, 2015, pág. 113).

Mientras tanto, Tejada, Villabona y Garcés (2015), indican que “la adsorción se produce específicamente en las paredes de los poros del interior de las partículas en puntos peculiares, por ello la cantidad de soluto que es adsorbido es igual al volumen de cada partícula de la misma forma el volumen es igual al área externa, además su área superficial de una partícula pequeña es mayor” (pág. 109).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Respecto al nivel de profundización es descriptiva de carácter documental, asimismo por la naturaleza de los datos y la información es cualitativa, respecto al propósito de la investigación desarrollada es de tipo básica, “cuyo fin es adquirir conocimientos sin importar su aplicabilidad, siendo esta otra forma de realizar investigaciones” (Prieto, 2017, pág. 2).

Debido a que se analizó e interpretó la información y no se manipuló alguna variable en la investigación, el diseño de estudio fue no experimental, de acuerdo al periodo temporal en que se realizó es longitudinal de tendencia, “orienta en estudiar o analizar los cambios que se producen en el transcurso del tiempo, en sus variables, categorías, conceptos o sus relaciones, una de las características distintivas es que la atención se enfoca en una población” (Mo, Beal, Chan, et al., 2017, p. 4).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Referente a las categorías y subcategorías se tuvo como categoría los residuos agroindustriales como subcategorías se consideró a los Tubérculos, Frutos, Granos, Frutos secos y Plantas, en los pretratamientos físicos (la trituración mecánica, térmica e hidroextracción), en los pretratamientos químicos se consideró los agentes de activación, por otro lado en los factores físicos se consideró la velocidad de agitación, tiempo de contacto, tamaño de partícula, temperatura y dosis, para los factores químicos se consideró el pH, agentes de activación y la concentración inicial del metal pesado y por último en la técnica de sorción se consideró la quimisorción y fisorción, de igual manera para la técnica de adsorción se tuvo en cuenta la química y física, mientras que para la técnica de absorción se tuvo la pasiva y activa, tal como se muestra en el anexo 1.

3.3. Escenario de estudio

El lugar en el que se realizó el estudio es el ámbito de acceso virtual en este caso las plataformas y/o bases de datos indexadas conformados por los artículos de acceso libre, los cuales fueron localizados y seleccionados, teniendo en cuenta la temática de estudio. Para ello se utilizaron plataformas de búsqueda como Scielo, Redalyc, ProQuest, ScienceDirect, Scopus, Dialnet, Ebsco y Gale One File, ya que son los medios virtuales para extraer la información requerida para el estudio.

3.4. Participantes

Las fuentes participantes que intervinieron en el estudio son los artículos científicos de revistas indexadas que quedaron al final después de hacer la exclusión de los artículos que no cuentan con los criterios de selección establecidos.

- **Criterios de inclusión:** Artículos en revistas científicas indexadas, literatura de acceso libre, idioma (inglés - español), año de publicación (2016 – 2020), trabajos primarios y la relación con la temática de estudio.
- **Criterios de exclusión:** Estudios duplicados, estudios antiguos (antes del 2016), estudios no experimentales, artículos no indexados, estudios que no guardan relación con la temática abordada, artículos incompletos y artículos que no estén en el idioma inglés o español no se tomaron en cuenta.

Para verificar que las revistas se encuentren entre los primeros cuartiles se utilizó una plataforma llamada Scimago Journal, esta plataforma sirve para determinar la calidad e impacto de los artículos científicos indexados.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Debido a que el estudio se basó en la revisión sistemática de artículos científicos, la técnica empleada para la recolección de datos e información fue el análisis documental, el cual permitió analizar, interpretar, organizar y sintetizar la información y datos obtenidos de los artículos seleccionados. Por tal motivo, el análisis documental viene a ser una operación intelectual del documentalista en la que realiza un proceso de análisis e interpretación de la información para luego sintetizarla (Castillo, 2015, p. 1).

Por otro lado, los instrumentos que se emplearon para el acopio y registro de la información fueron las fichas de recolección de datos, las cuales permitieron tener una mayor facilidad para el análisis de la información y/o datos relacionados al estudio, así como la organización, clasificación y procesamiento de la información. Asimismo, “las fichas vienen a ser instrumentos que sirven para plasmar toda la información importante que se ha encontrado durante la búsqueda de información” (Castro, 2015, p. 1).

3.6. Procedimiento

La investigación se desarrolló considerando los artículos científicos obtenidos de revistas indexadas, para ello se empleó palabras claves y conectores de búsqueda en el idioma inglés y español, tal como se muestra en las tablas 1 y 2. Estos artículos fueron seleccionados aplicando criterios de exclusión e inclusión preestablecidos, para luego realizar una evaluación y análisis del artículo completo teniendo en cuenta la temática de estudio.

Tabla 1: Conectores de búsqueda

Operador	Descripción
And - “y”	Específica y reduce la búsqueda de información
Or - “o”	Amplia y/o extiende la búsqueda de información
“Comillas”	Ofrece más flexibilidad al utilizar los operadores booleanos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Bases de datos y palabras clave

Bases de datos	Palabras clave (español)	Palabras clave (inglés)
Scopus	(remoción) OR (bioadsorción) AND (metales Y pesados), (residuos Y agroindustriales) AND (remoción), (remoción Y de Y metales Y pesados) OR (adsorción)	(removal) OR (bioadsorption) AND (metals and heavy), (waste and agro-industrial) AND (removal), (removal and of and metals AND heavy) OR (adsorption)
Ebsco	(bioadsorbente) AND (remoción de metales pesados), (remoción de metales pesados) AND (Bioadsorción), (adsorción) AND (metales pesados) AND (residuos agroindustriales)	(bioadsorbent) AND (heavy metal removal), (heavy metal removal) AND (Bioadsorption), (adsorption) AND (heavy metals) AND (agro-industrial waste)
Proquest	"bioadsorción" de metales pesados, "adsorción" de metales pesados, "remoción" de metales pesados	heavy metal "bioadsorption", heavy metal "adsorption", heavy metal "removal"
ScienceDirect	"Adsorción utilizando biomasa", "Adsorción de metales", "Remoción de metales"	Adsorption using biomass, "Metal adsorption", "Metal removal"
Dialnet	"biosorbentes de metales pesados", "bioadsorción y remoción"	heavy metal biosorbents, "bioadsorption and removal"
Redalyc	"Adsorción de metales pesados", "Bioadsorción", "Bioadsorbentes", "Remoción de metales pesados", "Eliminación de metales pesados"	Adsorption of heavy metals, "Bioadsorption", "Bioadsorbents", "Removal of heavy metals", "Removal of heavy metals"
Scielo	((bioadsorción de metales) OR (adsorción)), (Remoción de metales pesados) AND ((Bioadsorción) OR (adsorción)), (Eliminación de metales pesados) AND (remoción), ((aguas residuales industriales) AND (remoción) AND (metales pesados)), ((bioadsorbentes) AND (remoción)) AND (metales pesados)	((metal bioadsorption) OR (adsorption)), ((Heavy metal removal) AND (Bioadsorption) OR (adsorption)), ((Heavy metal removal) AND (removal)), ((industrial wastewater) AND (removal) AND (heavy metals)), ((bioadsorbents) AND (removal)) AND (heavy metals)
Gale one file	"Adsorción" AND metales, "remoción" AND metales pesados	Adsorption AND metals, "removal" AND heavy metals

Fuente: Elaboración propia

- a) **Ubicación de estudios:** Se accedió a los artículos mediante la plataforma Trilce que es proporcionada por la Universidad César Vallejo, la cual cuenta con una biblioteca virtual en la que se encuentra la opción de recursos digitales, al ingresar se encontraron las diversas plataformas que fueron utilizadas con el fin de buscar y seleccionar los artículos científicos indexados, tal como se muestra en la figura 1.

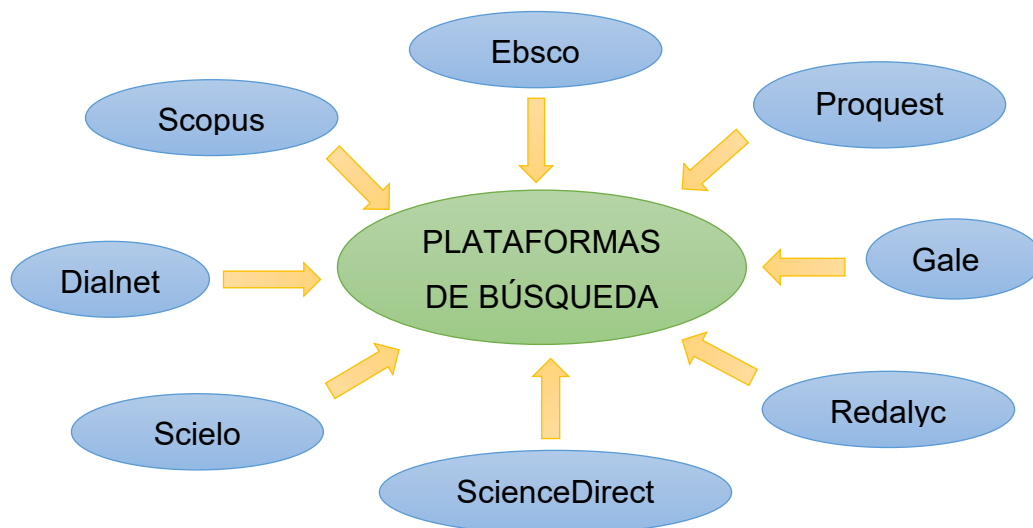


Figura 1: Plataformas de búsqueda (bases de datos)

Fuente: Elaboración propia

- b) **Búsqueda estratégica:** Se realizó una búsqueda de estudios primarios de forma organizada y sintetizada para la recolección de la información aplicando criterios de selección preestablecidos, basadas en las investigaciones de diversos autores, enfocado en la temática del estudio.
- c) **Selección de estudios:** Para seleccionar las investigaciones que guardan más relación y relevancia con la temática de estudio, se tuvo que excluir algunas investigaciones aplicando los criterios de exclusión e inclusión. Por ello, se consideraron investigaciones actuales como máximo 5 años de antigüedad con un rango de tiempo desde enero del 2016 hasta fines del 2020, asimismo se tomaron en cuenta los datos específicos de acuerdo a las categorías y subcategorías establecidas en la matriz de categorización apriorística.

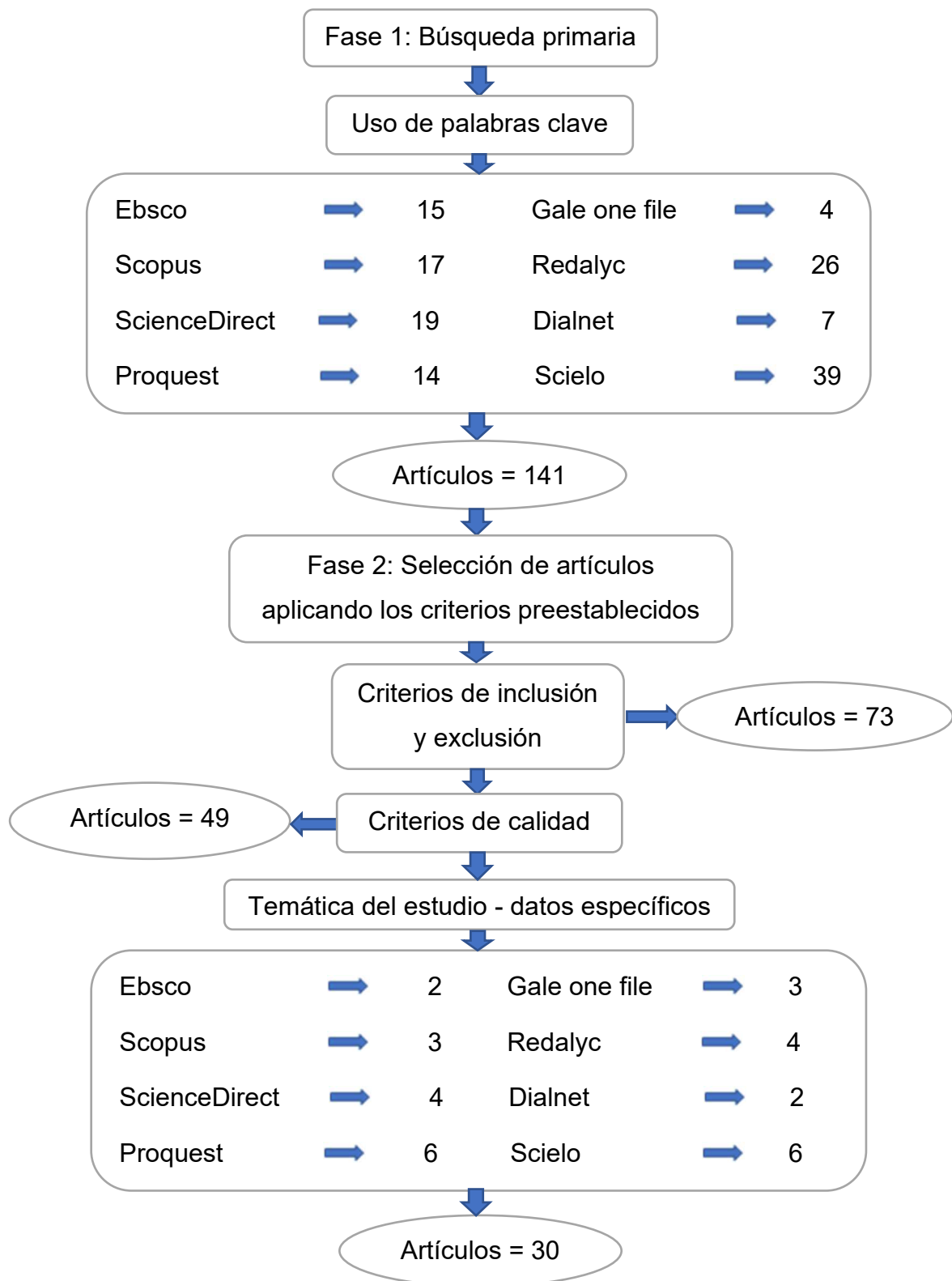


Figura 2: Seguimiento de la selección de artículos

Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

La investigación propuesta es relevante, ya que la metodología utilizada y los criterios aplicados mostraron evidencia científica del tema de investigación garantizando su validez y confiabilidad, puesto que cuenta con los siguientes principios: Credibilidad, transferibilidad, consistencia lógica y confirmabilidad, desarrollando así una investigación de calidad por la revisión rigurosa que se tuvo en la extracción de datos e información de los artículos científicos teniendo en cuenta los criterios preestablecidos, así como la interpretación, reconstrucción, procesamiento y análisis de la información para los resultados de la investigación.

3.8. Método de análisis de datos

Se empleó un método de análisis comparativo de tipo cualitativo para la información compilada y datos obtenidos de los artículos, permitiendo identificar las similitudes y diferencias de los artículos para lograr organizar la información de forma sistematizada mediante el análisis crítico y descriptivo, lo cual mejoró los conocimientos del estudio.

Para la realización de las tablas y figuras de análisis se utilizó el programa Microsoft Excel 2016 versión (v.16.0), que sirvió para comparar, tabular, cotejar y evaluar los datos que fueron obtenidos de los artículos seleccionados teniendo en cuenta la temática abordada.

3.9. Aspectos éticos

Este trabajo de investigación cumplió con los principios éticos que están estipulados en el Reglamento de la Ética de Investigación de la Universidad César Vallejo con resolución N° 0262-2020/UCV del Consejo Universitario, tal como la transparencia, responsabilidad, probidad, autonomía, cuidado del medio ambiente y biodiversidad, asimismo se respetó los derechos de propiedad de los investigadores, así como sus ideologías y aportes de sus investigaciones al momento de extraer, procesar y analizar los datos mediante citas y referencias según la norma internacional ISO 690 establecida por la Universidad César Vallejo, también se tuvo en cuenta el principio de beneficencia puesto que, cuenta con información original, confiable y verídica la cual podría ser utilizada en trabajos futuros de investigación relacionados con la temática de estudio en función a cuidar, proteger y conservar el ambiente; finalmente el valor de justicia dado que, se dio un trato igual para todos los integrantes sin exclusión alguna, cabe resaltar que se trabajó teniendo en cuenta nuestros valores, principios éticos y respetando las condiciones que se han establecido para la elaboración de proyectos, lo cual le da un valor extra a la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra los artículos que fueron identificados en las bases de datos a través de las palabras claves ya descritas que están relacionados a la temática de la investigación propuesta, tal como se muestra en la figura 3.



Figura 3: Artículos por año publicados en bases de datos consultadas

Fuente: Elaboración propia

Este trabajo de investigación se desarrolló mediante la revisión sistemática de los 30 artículos seleccionados para ser evaluados críticamente. Asimismo, con el propósito de cumplir con los objetivos establecidos en la investigación se procedió a realizar el análisis de las muestras seleccionadas.

4.1. Tipos de residuos agroindustriales pretratados

Teniendo en cuenta esta información se procedió hacer el análisis de los tipos de residuos agroindustriales pretratados que presentan mejor capacidad de remoción para la mitigación de metales pesados en aguas residuales industriales, teniendo en cuenta el grupo al que pertenecen, el tipo de agua y el metal pesado.

Tabla 3: Residuos agroindustriales pretratados

Autor	Grupo	Tipo de residuo agroindustrial	Tipo de agua	Metal	Concentración (mg/L)		Eficiencia (%)
					Inicial	Final	
Tejada, Villabona y Osorio		Almidón de ñame	Sintética	Ni	200	23.9	88.1
Tejada, González y Villabona	Tubérculos	Cáscara de yuca	Sintética	Pb	100	1.8	98.2
Gallo, et al.		Cáscara de ñame	Sintética	Pb	100	3.5	96.5
Choque, et al.		Almidón de papa	Efluente minero	As	5	2.2	56.8
Lara, et al., (2016)		Cáscara de cacao	Sintética	Pb	100	8.7	91.3
Espinosa, et al.		Hueso de nanche	Sintética	Pb	100	12	88
Choque, et al.		Mucílago de cactus (Tuna)	Efluente minero	Pb	5	1.3	73.2
Castro, et al.	Frutos	Cáscara de naranja	Sintética	Zh	100	2.9	97.1
Castro, et al.		Cáscara de granadilla	Sintética	Zh	100	11.8	88.2
Villabona, et al.		Cáscara de plátano	Sintética	Cr	100	0.5	99.5
Tapia, et al.		Semilla de durazno	Sintética	Cu	20	9.9	50.5
Elhafez, et al.		Cáscara de arroz	Sintética	Cu	150	36.5	75.6
Carvajal y Marulanda		Cáscara de café	Efluente minero	Pb	100	5.2	94.8
Botello, et al.	Granos	Café gastado (borra)	Efluente minero	Pb	100	18	82
Carvajal y Marulanda		Café molido	Efluente minero	Ni	100	6	94
Thompson, Ndukwe y Asadu		Cáscara de maní	Efluente industrial	Pb	100	7.7	92.3
Mohubedu, et al.		Bellota	Sintética	Pb	100	20.5	79.5
Hamidpour, et al.	Frutos secos	Cáscara de pistache	Sintética	Cd	48	4.4	90.8
Tapia, et al.		Cáscara de nuez (almendra)	Sintética	Cu	20	7.6	62
Maina, Obuseng y Nareetsile		Vainas de semillas de moringa oleifera	Efluente industrial	Cu	100	21.8	78.2
Tapia, et al.		Cáscara de avellana	Sintética	Cu	20	9.7	51.5

Rodríguez, et al.	Cápsulas de moringa oleífera	Sintética	Cu	8	2.3	71
Vizcaíno, et al.	Tallos de jacinto de agua	Sintética	Pb	200	8.8	95.6
Vizcaíno, et al.	Hojas de jacinto de agua	Sintética	Pb	200	6.9	96.5
Medellín, et al.	Lechuguilla (penca)	Sintética	Pb	100	6.1	93.9
Medellín, et al.	Plantas Palma samadoca (yuca carnerosana)	Sintética	Pb	100	17	83
Jamoussi, et al.	Acacia gummífera (hojas de arbusto)	Efluente industrial	Pb	100	3	97
Villabona, et al.	Bagazo de palma aceitera	Sintética	Cr	100	4.2	95.8
Schwantes, et al.	Tallo de uva	Sintética	Cd	10	3.4	66

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se presenta 29 tipos de residuos agroindustriales encontrados, los cuales fueron organizados en 5 grupos (Tubérculos, Frutos, Granos, Frutos secos y Plantas), asimismo fueron empleados para la mitigación de 7 metales pesados (arsénico (As), plomo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr), zinc (Zn), cobre (Cu) y cadmio (Cd)).

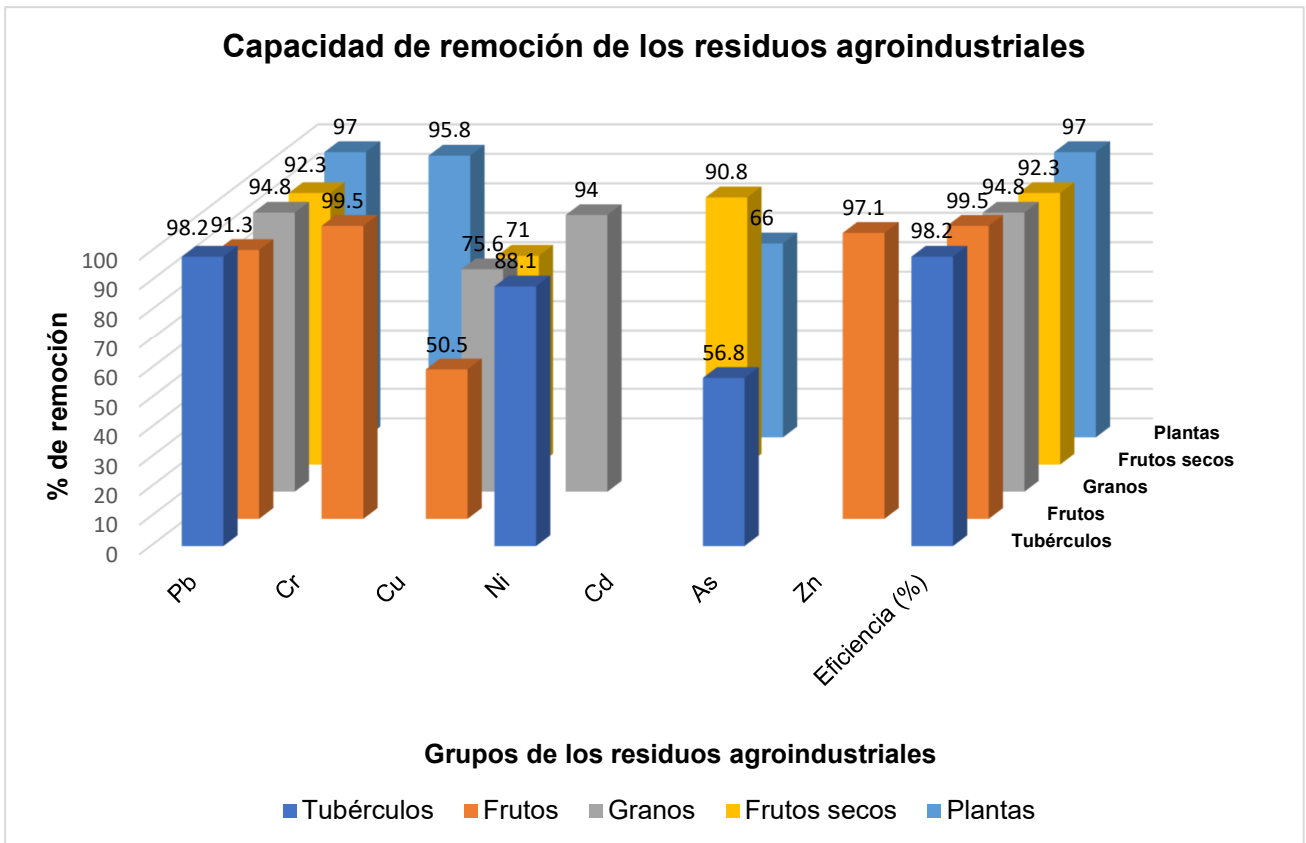


Figura 4: Mejor eficiencia de los grupos de residuos agroindustriales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se presenta la mejor eficiencia de cada grupo con respecto a los diversos tipos de residuos agroindustriales, en cuanto a los Tubérculos la mejor eficiencia se presentó con la cáscara de yuca para la remoción de plomo con 98.2%, seguidamente en el grupo de Granos la cáscara de café con 94.8% en la remoción de plomo, con respecto al grupo de Frutos secos se tuvo la cáscara de maní con 92.3% en la remoción de plomo y la acacia gummifera (hojas de arbusto) que pertenece al grupo de Plantas con 97% en la remoción de plomo. Asimismo, la mejor capacidad de remoción encontrada fue de cromo, obteniendo una eficiencia del 99.5% empleando cáscara de plátano perteneciente al grupo de Frutos.

De acuerdo a ello, al trabajar en la remoción de plomo, Tejada, González y Villabona (2019), infieren que al utilizar cáscara de yuca en agua sintética se obtienen resultados similares en cualquier tipo de agua contaminada con metales pesados, A diferencia de Choque, et al., (2020) que al trabajar con agua de un efluente minero, usando el almidón de papa, precisa que es diferente trabajar en otros tipos de aguas residuales contaminadas, ya que pueden contener otros

compuestos que interfieren con el proceso de remoción, al igual que Botello, et al., (2019) al utilizar café gastado afirman que el agua de un efluente minero contiene otros metales, sulfatos, compuestos de cianuro y otros componentes inorgánicos que dificultan la remoción.

Al trabajar con agua de efluentes industriales contaminadas con plomo, Thompson, Ndukwe y Asadu (2020) mencionan que elevando la temperatura de 30 a 60 °C en 100 minutos de tiempo de contacto utilizando cáscara de maní con una concentración inicial de 100 mg/L obtuvieron una eficiencia de hasta un 92.3%. Así mismo Jamoussi, et al., (2020) al trabajar con hojas de arbusto y una concentración inicial de 100 mg/L, mostró una eficiencia de 97% debido a que mantuvo una temperatura estable de 35 °C con un tiempo de contacto de 150 minutos.

Para la remoción de cobre, Elhafez, et al., (2017) emplearon cáscara de arroz presentando como mejor eficiencia un 75.6% mientras que Tapia, et al., (2017) al emplear la semilla de durazno presentó la menor eficiencia de 50.5%, sin embargo, mencionan que la baja eficiencia se debe a que, durante el pretratamiento de los residuos agroindustriales, la estructura de cada material suele alterar los grupos que contiene como: alcoholes, ácidos, hidróxidos fenólicos, aldehídos y éteres.

Al evaluar los grupos al que pertenece cada tipo de residuos agroindustrial y comprobar que estos presentaran concentraciones iniciales de 100 mg/L, Tejada, González y Villabona (2019), mencionan que trabajar con cáscara de yuca pretratada para la remoción de plomo es una de las mejores alternativas debido a la gran afinidad que tiene hacia este metal por los grupos funcionales que contiene el material bioadsorbente, por lo que mostró una eficiencia de 98.2%, similar a Villabona, et al., (2020) que al trabajar con cáscara de plátano presentó una eficiencia de 99.5%, afirmando que el alto porcentaje de remoción se debe a que la cáscara de plátano contiene en gran parte lignina, llegando a ser un adsorbente muy efectivo para la remoción de iones metálicos, ya que presenta una gran capacidad de intercambio iónico, así mismo Carvajal y Marulanda, (2020), mencionan que es mejor si se emplea la cáscara de café para remover un solo metal es mucho más eficiente, ya que al juntarse con otros metales puede existir un efecto de competencia porque ambos metales rivalizan para ser removidos,

este trabajo mostró una eficiencia de 94.8% y Thompson, Ndukwe y Asadu (2020), al trabajar con cáscara de maní presentando una eficiencia de 92.3% mencionan que este residuo tiene un mejor desempeño al ser pretratado, por otro lado Jamoussi, et al., (2020) utilizó acacia gummifera (hojas de arbusto) mostrando una eficiencia de 97%, mencionando que al trabajar con plantas, la remoción de los metales depende de los tejidos, ya que poseen capacidades altas de remoción de metales.

4.2. Tipos de pretratamientos de los residuos agroindustriales

Tabla 4: Pretratamientos aplicados a los residuos agroindustriales

Tipo de pretratamiento	Autor	Residuo Agroindustrial	Metal	Eficiencia (%)
Trituración mecánica	Tejada, Montiel, et al.	Cáscara de yuca	Pb	78.5
	Tejada, González y Villabona	Cáscara de ñame	Pb	81.2
	Medellín, et al.	Lechuguilla (penca)	Pb	93.9
	Jamoussi, et al.	Acacia Gummifera (hojas de arbusto)	Pb	97
	Botello, et al.	Café gastado	Cu	54
	Elhafez, et al.	Cáscara de arroz	Cu	75.6
	Maina, Obuseng y Nareetsile	Cáscara de nuez	Cu	89
	Rodríguez, et al.	Cápsulas de moringa oleífera	Cu	71
	Dávila, et al.	Cáscara de naranja	Cr	93.9
	Tejada, Villabona y Ortega,	Cáscara de plátano	Cr	92.7
Físicos	Thompson, Ndukwe y Asadu	Cáscara de ñame	Pb	88.5
	Vizcaíno, et al.	Hojas de jacinto de agua	Pb	96.6
	Gallo, et al.	Bagazo de palma aceitera	Pb	95.1
	Hamidpour, et al.	Cáscara de pistache	Cd	90.8
	Mohubedu, et al.	Bellota	Cd	26.6
	Gallo, et al.	Cáscara de arroz	Cr	60
	Gallo, et al.	Cáscara de ñame	Ni	94.9
	Tejada, Villabona y Osorio	Almidón de ñame	Ni	88.1
	Choque, et al.	Almidón de papa	As	56.8
	Gallo, et al.	Cáscara de ñame	Ni	94.9
Químicos	Gallo, et al.	Bagazo de palma aceitera	Ni	95.2
		Bagazo de palma aceitera	Ni	77
	Tejada, Villabona y Ruiz	Bagazo de palma aceitera	Ni	77
		Cáscara de ñame	Ni	81
Hidroextracción	Gallo, et al.	Almidón de ñame	Ni	88.1
		Almidón de papa	As	56.8
		Cáscara de ñame	Ni	94.9
		Bagazo de palma aceitera	Ni	95.2
		Bagazo de palma aceitera	Ni	77
		Cáscara de ñame	Ni	81
		Almidón de ñame	Ni	88.1
		Almidón de papa	As	56.8
		Cáscara de ñame	Ni	94.9
		Bagazo de palma aceitera	Ni	95.2

	Botello, et al.	Café gastado	Pb	82
	Tejada, González y Villabona	Cáscara de yuca	Pb	98.2
	Lara, et al.	Cáscara de cacao	Pb	91.3
	Espinosa, et al.	Hueso de nanche	Pb	88
	Carvajal y Marulanda	Cáscara de café	Pb	94.8
Hidróxido de sodio (NaOH)	Mohubedu, et al.	Bellota	Pb	79.5
	Hamidpour, et al.	Cáscara de pistache	Pb	90.8
	Choque, et al.	Almidón de papa	Cr	36
	Ruiz, et al.	Bagazo de palma aceitera	Cr	67.6
	Schwantes, et al.	Tallo de uva	Cd	66
	Mohubedu, et al.	Bellota	Pb	72.7
	Maina, Obuseng y Nareetsile	Vainas de semillas de Moringa oleifera	Pb	93.4
	Medellín, et al.	Palma samadoca (yuca carnerosana)	Pb	83
	Castro, et al.	Cáscara de naranja	Zn	97.1
	Villabona, et al.	Bagazo de palma aceitera	Cr	95.8
Ácido clorhídrico (HCl)				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se observa los tipos de pretratamientos tanto físicos como químicos que se realizan a los residuos agroindustriales, dentro de los físicos tenemos la trituración mecánica, térmico y por hidroextracción, por otro lado, para los pretratamientos químicos se utiliza el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl). Asimismo, los artículos presentados son los que cuentan con el mejor grado de eficiencia en la remoción de los distintos metales presentados.

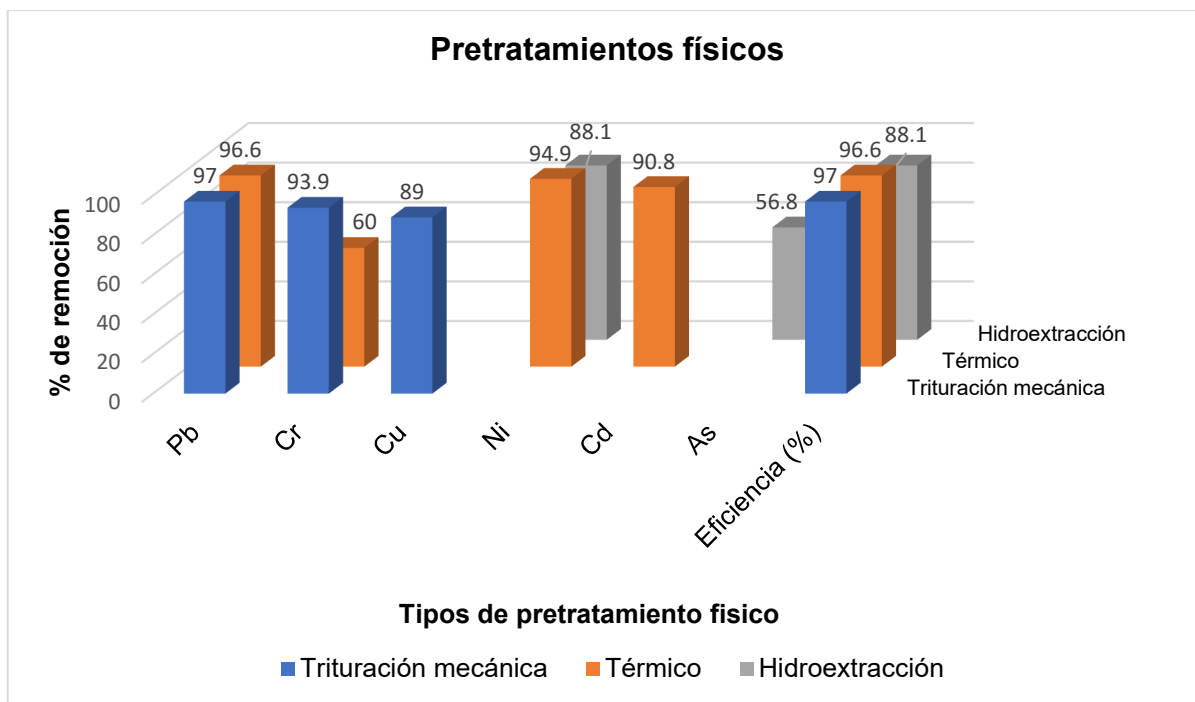


Figura 5: Máximos valores de los pretratamientos físicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se observa las eficiencias más altas de cada tipo de pretratamiento, con respecto a la trituración mecánica realizada a la *Acacia gummifera* (hojas de arbusto) alcanzó un valor de 97% en la remoción de plomo, asimismo, en el pretratamiento térmico aplicado a las hojas de jacinto de agua se obtuvo una eficiencia de 96.6% en cuanto a la remoción de plomo. Por otro lado, en el pretratamiento por hidroextracción para la obtención del almidón de ñame se tuvo la máxima eficiencia con un valor de 88.1% en la remoción de níquel.

Con respecto al pretratamiento físico, Dávila, et al., (2017), Tejada, Villabona, Ortega, (2020) y Jamoussi, et al., (2020), infieren que el pretratamiento físico - trituración mecánica es la mejor forma para tratar los residuos agroindustriales, ya que mediante una combinación de trituración y molienda reduce el estado cristalino de la celulosa, asimismo, aumenta la densidad aparente y la superficie específica facilitando la remoción de los metales pesados. Por otro lado, Gallo, et al., (2018) y Vizcaíno, et al., (2017), nombraron que el pretratamiento físico - térmico es más efectivo, ya que el bioadsorbente es sometido a altas temperaturas rompiendo enlaces y fibras, cuyo resultado forma un bioadsorbente fibroso donde la celulosa es más accesible para la adsorción de iones metálicos. Mientras que, Tejada,

Villabona, Osorio, (2020) y Choque, et al., (2020), indican que el pretratamiento físico por hidroextracción produce una mejor remoción de metales, ya que consiste en el rompimiento de las paredes celulares para liberar el almidón mediante el rallado, seguido de la adición de agua y filtración quedando finalmente el material sedimentado el cual los iones metálicos son atraídos por los grupos funcionales presentes en la superficie del bioadsorbente.

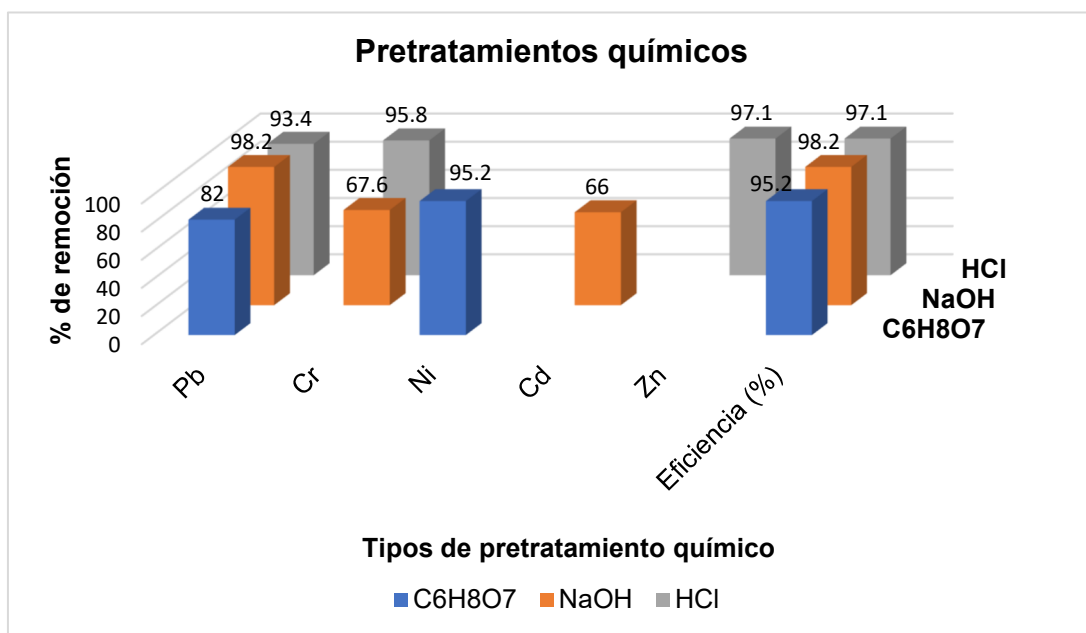


Figura 6: Máximos valores de los pretratamientos químicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se evidencia los tipos de pretratamientos químicos que fueron utilizados para tratar residuos agroindustriales, por ende, el tipo de tratamiento químico que se realizó al bagazo de palma aceitera utilizando ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) tuvo una máxima eficiencia de 95.2% en la remoción de níquel, en cambio en el tratamiento químico utilizando hidróxido de sodio (NaOH) para la cáscara de yuca se obtuvo un 98.2% en la remoción de plomo. Con respecto al tratamiento químico empleando el ácido clorhídrico para la activación química de la cáscara de naranja se obtuvo un valor de 97.1% en la remoción de zinc.

Referente al pretratamiento químico, Gallo, et al., (2018), menciona que el ácido cítrico es indispensable para modificar los residuos agroindustriales haciendo que estos presenten eficiencias de remoción superiores al 90%, con respecto a ello, Tejada, Villabona y Ruiz, (2016), establecen que los participantes de la remoción

son los grupos carboxilo e hidroxilo y además el tratamiento químico de las biomásas mejora la adsorción del metal, sin embargo, Tejada, González y Villabona (2019) y Carvajal y Marulanda, (2020), emplearon hidróxido de sodio únicamente para ajustar el pH de la solución y que sus resultados fueron similares o incluso mejores que al realizar la modificación de los residuos agroindustriales, del mismo modo Castro, et al., (2020) y Villabona, et al., (2020) que utilizaron ácido clorhídrico para ajustar el pH de la solución y también presentaron eficiencias superiores al 90%.

4.3. Factores que influyen en el proceso de remoción de metales pesados

Tabla 5: Factores influyentes en la remoción de metales pesados

Factores físicos							
Autor (es)	Residuo agroindustrial	Metal	V. agitación (rpm)	Tiempo de contacto (min)	Tamaño de partícula (mm)	T. (°C)	Efficiencia (%)
Medellín, et al.	Lechuguilla (penca)	Pb	300	15	0.7	35	93.9
Maina, Obuseng y Nareetsile	Cáscaras de nuez	Pb	200	120	0.1	35	94.7
Lianos, et al.	Cáscara de arroz	Cr	200	120	0.5	25	60
Villabona, et al.	Bagazo de palma aceitera	Cr	200	420	0.15	30	75
Elháfes, et al.	Cáscara de arroz	Cu	180	60	1	25	75.6
Maina, Obuseng y Nareetsile	Cáscaras de nuez	Cu	200	120	0.1	35	89
Vera, et al.	Cáscara de cacao	Cd	200	120	1	17	90
Espinosa, et al.	Hueso de nanche	Cd	200	240	1.4	25	80
Ruiz, et al.	Almidón de ñame	Ni	200	100	1	76	66.8
Tejada, Villabona y Ruiz	Bagazo de palma	Ni	150	50	1	25	77
Maina, Obuseng y Nareetsile	Cáscaras de nuez	Zn	200	120	0.1	35	57.6
Factores químicos							
Autor (es)	Residuo agroindustrial	Metal	Agentes de activación	pH	Co (mg/L)	Efficiencia (%)	
Vizcaíno, et al.	Hojas de jacinto de agua	Pb	Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	5.5	200	96.6	
Tejada, González y Villabona	Cáscara de yuca	Pb	Hidróxido de sodio (NaOH)	6	100	98.2	
Villabona, et al.	Cáscara de plátano	Cr	Hidróxido de sodio (NaOH)	2	100	99.5	
Dávila, et al.	Cáscara de plátano	Cr	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1.5	32.6	93.9	
Maina, Obuseng y Nareetsile	Vainas de semillas de Moringa oleifera	Cu	Ácido clorhídrico (HCl)	7	100	78.2	
Rodríguez, et al.	Cápsulas de Moringa oleifera	Cu	Ácido clorhídrico (HCl)	7	8	71	
Hamidpour, et al.	Cáscara de pistache	Cd	Ácido nítrico (HNO ₃)	7	88.7	90.8	

Lara, et al.	Cáscara de cacao	Cd	Hidróxido de sodio (NaOH)	6	12.2	87.8
Gallo, et al.	Cáscara de ñame	Ni	Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)	6	100	95.2
Carvajal y Marulanda	Café molido	Ni	Ácido nítrico (HNO ₃)	5	100	94
Castro, et al.	Cáscara de naranja	Zn	Ácido clorhídrico (HCl)	7	100	97.1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se presenta los factores físicos y químicos que intervienen en la remoción de metales pesados, dentro de los factores físicos se encuentra la velocidad de agitación la cual se mide en revoluciones por minuto (rpm), también está el tiempo de contacto representado en minutos (min), el tamaño de partícula en milímetros (mm), la temperatura representada en grados celsius (°C) y por último la dosis expresada en gramos (g). Por otro lado, los factores químicos lo componen el pH, los agentes de activación, los cuales sirven para activar el residuo agroindustrial y por último está la concentración inicial del metal pesado a remover.

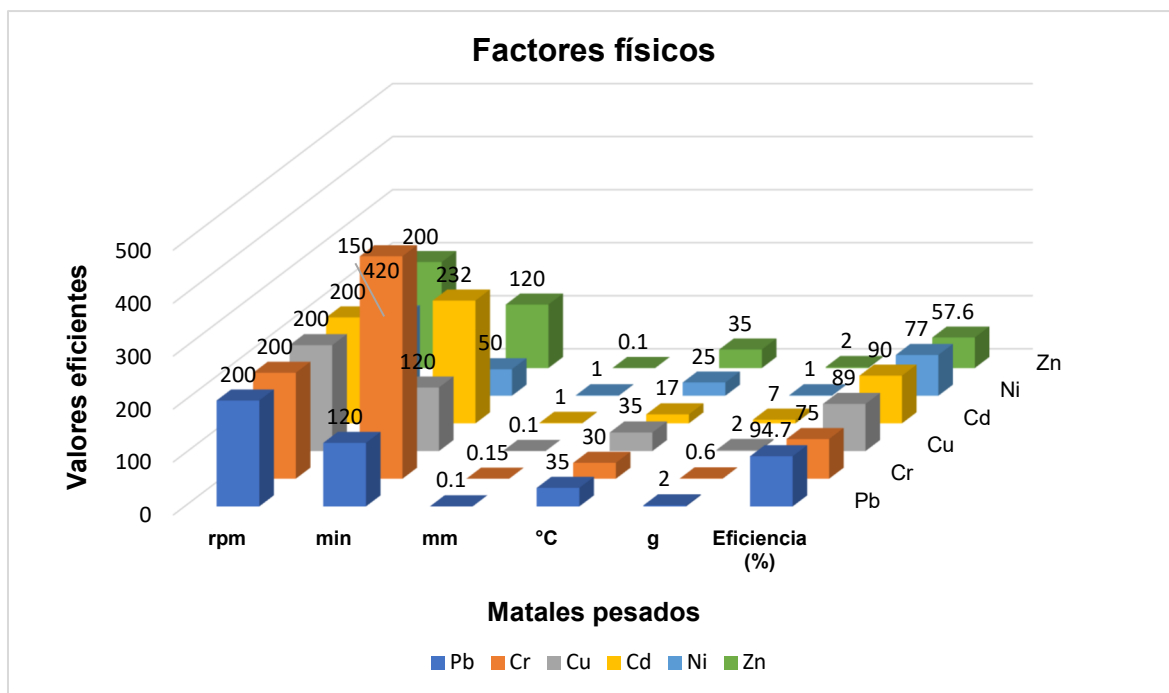


Figura 7: Factores físicos de mayor relevancia

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se observan los factores físicos más relevantes en el proceso de remoción de metales pesados empleando residuos agroindustriales, de acuerdo al análisis se demuestra que los procesos se ajustan mejor a 200 rpm de velocidad de agitación y un tiempo de 120 minutos, utilizando un tamaño de partícula menor o igual a 1 milímetro en un rango de temperatura de 17 a 35 °C, utilizando una dosis menor o igual a 2 gramos, mostrando valores por encima de 57% dependiendo del metal a remover.

De acuerdo con la temperatura en el proceso de remoción, Ruiz, et al., (2019), afirman que al aumentar la temperatura se tiene una mejor incidencia en la remoción del metal pesado (Níquel). Por otro lado, Maina, Obuseng y Nareetsile (2016), mencionan que no hubo cambios significativos en el porcentaje de remoción para otros metales excepto para el plomo, mientras que Medellín, et al., (2017), señalaron que al aumentar la temperatura en el proceso de remoción este disminuye bruscamente en cuanto al metal pesado (Plomo).

Con respecto al tiempo de contacto, Llanos, et al., (2016), infiere que en 120 minutos se logra un porcentaje de remoción mayor o igual al 60% empleando cáscara de arroz para remover cromo. En otro estudio para remover Cadmio realizado por Vera, et al., (2018) utilizando la cáscara de cacao menciona que al aumentar el tiempo de contacto a 600 minutos se produce una mejor remoción de hasta un 90%.

En cuanto a la velocidad de agitación, Vera, et al., (2018), Tejada, Villabona y Ruiz, et al., (2019), señalan que es ideal trabajar con una velocidad comprendida entre 150 a 200 rpm debido a que se produce una mejor interacción entre el bioadsorbente y el metal pesado a fin de lograr una mejor eficiencia, de igual manera Maina, Obuseng y Nareetsile (2016), menciona que trabajar con una velocidad de 200 rpm presenta una mejor relación metal - adsorbente utilizando cáscara de nuez; sin embargo, Medellín, et al., (2017), demostró que al trabajar con 300 rpm correspondiente a la velocidad de agitación se obtienen resultados superiores al 90%.

Referente al tamaño de partícula del residuo agroindustrial, Elhafez, et al., (2017), Vera, et al., (2018), Ruiz, et al., (2019) y Espinosa, et al., (2020), mencionan que al trabajar con un tamaño de partícula entre 1 y 1.4 milímetros se produce la máxima remoción de metales pesados como cobre, cadmio y níquel. Por otro lado, Maina, Obuseng y Nareetsile (2016), Medellín, et al., (2017), Llanos, et al., (2016) y Villabona, et al., (2019), argumentan que mediante sus experimentos realizados y las diversas dosis aplicadas en diferentes soluciones contaminadas con metales pesados como el plomo, cromo, cobre y zinc mostraron mejores resultados con un tamaño de partícula menor a 1 milímetro que favorece al proceso de adsorción.

Con respecto a la dosis del bioadsorbente, Medellín, et al., (2017) y Espinosa, et al., (2020), señalan que la mejor remoción de metales pesados sucede al utilizar dosis menores o iguales a 1 gramo presentando valores de 93.9% y 80% correspondientemente al plomo y cadmio; mientras que Maina, Obuseng y Nareetsile (2016) y Vera, et al., (2018), sustentan que al utilizar dosis de 2 y 7 gramos se presenta mejor eficiencia con respecto a la remoción del plomo y cadmio, obteniendo valores de 94.7% y 90% respectivamente.

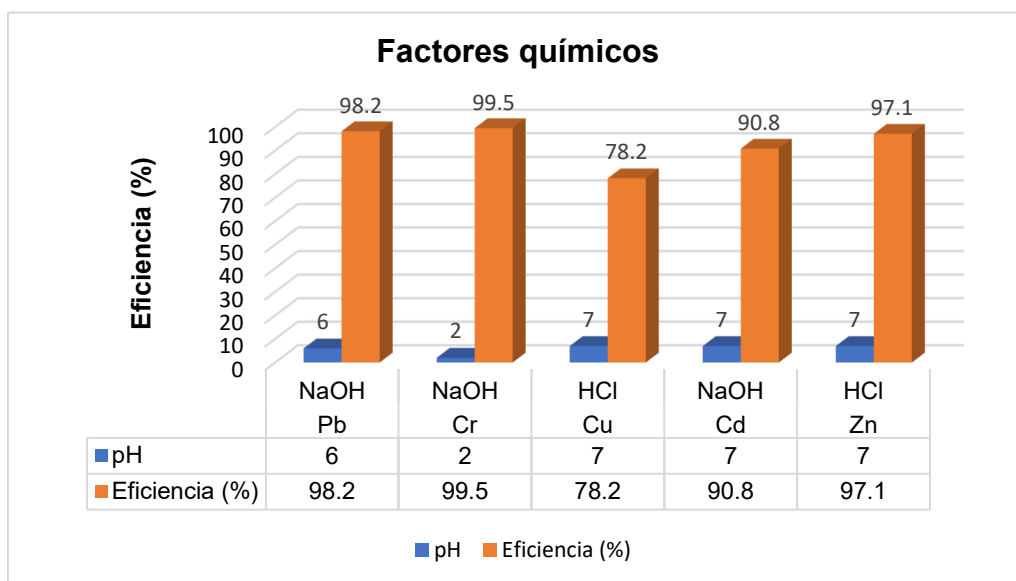


Figura 8: Factores químicos de mayor relevancia

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se observa los factores químicos más relevantes en el proceso de remoción de metales pesados, determinando que al emplear el hidróxido de sodio o ácido clorhídrico presentan mayor eficiencia en la remoción de metales pesados, asimismo, se infiere que el pH debe ser ajustado entre 6 a 7 para obtener mejores resultados en cuanto a la bioadsorción de iones metálicos.

Concerniente al uso de agentes de activación, Vizcaíno, et al., (2017) y Gallo, et al., (2018), mencionan que utilizando ácido cítrico para la activación de sus residuos agroindustriales muestran mejores resultados en el porcentaje de remoción con 96.6 y 95.2% de plomo y níquel usando hojas de jacinto de agua y cáscara de ñame respectivamente. Para Hamidpour, et al., (2018) y Carvajal y Marulanda (2020), trabajar con ácido nítrico también alcanzan valores porcentuales por encima del 90% de remoción de cadmio y níquel utilizando cáscara de pistache y café molido correspondientemente. Por otro lado, Tejada, González y Villabona (2019) y Villabona, et al., (2020), demuestran que usando hidróxido de sodio se obtiene mejor eficiencia en cuanto a la remoción de plomo y cobre con valores de 98.2% y 99.5% empleando cáscara de yuca y cáscara de plátano proporcionalmente.

Referente al pH, Maina, Obuseng y Nareetsile (2016), afirman que a pH bajo los cationes compiten con el ion hidrógeno en la solución por los sitios activos y por eso disminuye la adsorción, pero a un pH más alto la superficie del adsorbente tiene una carga negativa más alta que atrae más cationes; asimismo, Rodríguez, et al., (2016) y Castro, et al., (2020) indican que, al trabajar con pH neutro, remueven cualquier tipo de metal pesado. Por otro lado, Dávila, et al., (2017), menciona que la adsorción es facilitada por valores bajos de pH, facilitando la remoción del metal, dando la razón únicamente a Hamidpour, et al., (2018), quienes señalan que la eficiencia depende del metal que se desea remover, ya que al trabajar en la remoción de cadmio presentó mejor eficiencia al aumentar el pH de la solución, a diferencia de plomo la eficiencia disminuyó al aumentar el pH.

Respecto a la concentración inicial de metal pesado en la solución, Tejada, González y Villabona (2019), Castro, et al., (2020) y Vizcaíno, et al., (2017), señalan que el efecto causado por el aumento de la concentración inicial del metal pesado interviene de forma significativa en la remoción, ya que presentan una mayor energía de enlace con los grupos funcionales de los residuos agroindustriales pretratados. Por otro lado, Hamidpour, et al., (2018), Choque, et al., (2020) y Lara, et al., (2016), establecen que el aumento de la concentración inicial acelera la difusión del metal pesado de la solución a la superficie del adsorbente debido a la fuerza impulsadora creciente cuando la concentración del ion metálico es mayor.

4.4. Técnicas eficientes para remover metales pesados utilizando residuos agroindustriales pretratados

Tabla 6: Técnicas eficientes para la remoción de metales pesados

Técnica de remoción	Autor (es)	Residuo agroindustrial	Tipo de agua	Metal	Eficiencia (%)
Quimisorción	Carvajal y Marulanda	Café gastado	Efluente minero	Cd	84.3
	Schwantes, et al.	Tallo de uva	Sintética	Cd	66
Fisorción	Tapia, et al.	Cáscara de nuez (almendra)	Sintética	Cu	62
	Tejada, Villabona y Ortega	Cáscara de plátano	Sintética	Cr	92.7
	Tejada, Montiel, et al.	Cáscara de yuca	Sintética	Pb	78.5
	Gallo, et al.	Cáscara de ñame	Sintética	Pb	96.5
	Medellín, et al.	Palma samadoca (yuca carnerosana)	Sintética	Pb	83
	Lara, et al.	Cáscara de cacao	Sintética	Pb	91.3
	Espinosa, et al.	Hueso de nanche	Sintética	Pb	88
	Tejada, González y Villabona	Cáscara de yuca	Sintética	Pb	98.2
	Choque, et al.	Mucílago de cactus (tuna)	Efluente minero	Pb	74
	Botello, et al.	Café gastado	Efluente minero	Pb	82
Química	Tejada, Villabona y Ruiz	Cáscara de ñame	Sintética	Ni	81
	Tejada, Villabona y Osorio	Almidón de ñame	Sintética	Ni	88.1
	Ruiz, et al.	Bagazo de palma aceitera	Sintética	Cr	67.6
	Villabona, et al.	Bagazo de palma aceitera	Sintética	Cr	95.8
	Hamidpour, et al.	Cáscara de pistache	Sintética	Cd	90.8
	Rodríguez, et al.	Cápsulas de moringa oleifera	Sintética	Cu	71
	Vizcaino, et al.	Hojas de jacinto de agua	Sintética	Pb	96.6
	Vera, et al.	Cáscara de cacao	Efluente industrial	Pb	91
	Medellín, et al.	Lechuguilla (penca)	Sintética	Pb	93.9
	Thompson, Nlukwe y Asadu	Cáscara de yuca	Efluente industrial	Pb	97

	Mohubedu, et al.	Bellota	Sintética	Pb	79.5
	Llanos, et al.	Cáscara de arroz	Efluente de industria textil	Cr	60
	Dávila, et al.	Cáscara de plátano	Efluente de curtiembre	Cr	93.9
	Acosta, et al.	Cáscara de yuca	Sintética	Cr	58.2
	Villabona, et al.	Cáscara de plátano	Sintética	Cr	99.5
	Ruiz, et al.	Almidón de ñame	Sintética	Ni	66.8
	Elhafez, et al.	Cáscara de arroz	Sintética	Cu	75.6
	Jamoussi, et al.	Acacia gummifera (hojas de arbusto)	Efluente industrial	Pb	97
Absorción	Maina, Obuseng y Nareetsile	Vainas de semillas de moringa oleifera	Efluente industrial	Pb	93.4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestra las técnicas de sorción, adsorción y absorción empleadas para remover metales pesados haciendo uso de los residuos agroindustriales, de acuerdo a la técnica de sorción se consideró la quimisorción y fisorción, de igual forma la adsorción se subdividió en química y física, por otro lado, la técnica de absorción se subcategorizó en pasiva y activa. Además, los estudios presentados son los que expresan los mejores resultados en cuanto a las diferentes técnicas de remoción descritas.

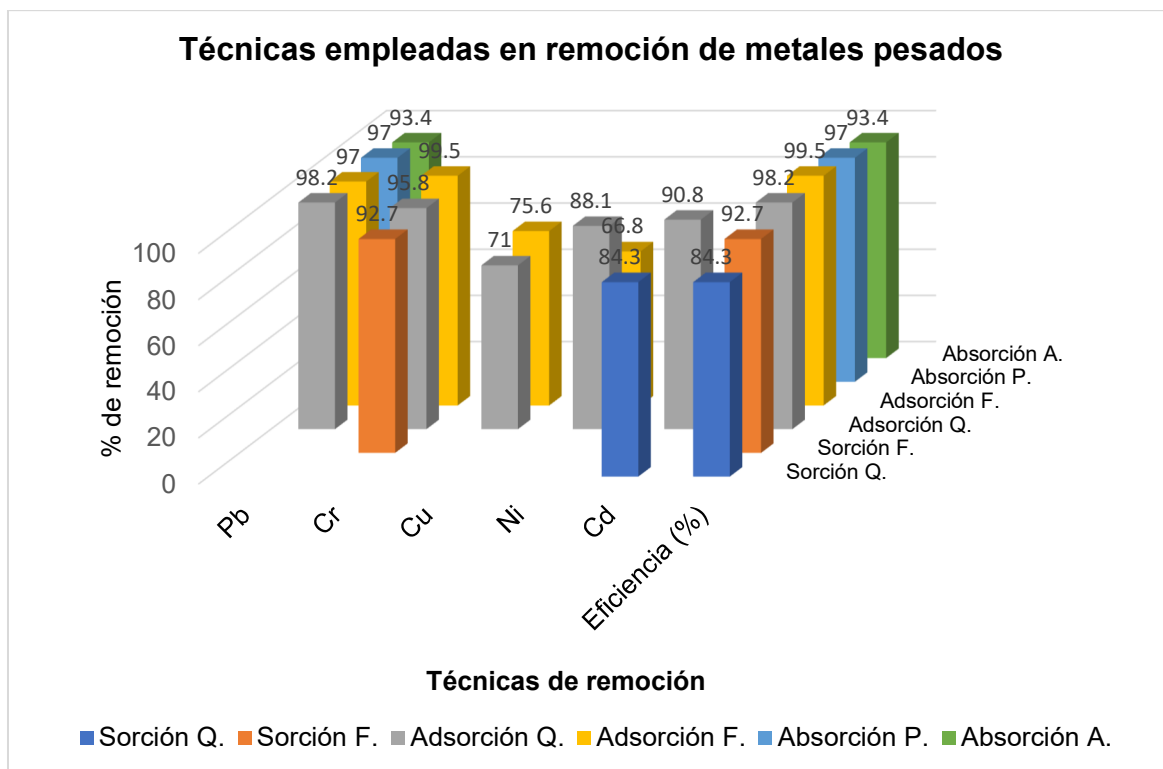


Figura 9: Técnicas de remoción

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se evidencia las técnicas de remoción de metales pesados, además se muestra las eficiencias más altas obtenidas con la aplicación de las diferentes técnicas, de acuerdo con la sorción la mejor eficiencia se obtuvo aplicando la sorción física con 92.7% para remover cromo empleando la cáscara de plátano. Por otra parte, en la aplicación de la adsorción su valor no vario mucho entre la física y química, ya que ambos resultados están por encima de 98% de eficiencia, de igual manera la absorción también muestra resultados de eficiencia muy significativos, ya que muestran valores de 97% para la absorción pasiva y 93.4% para la absorción activa.

En relación a la técnica de sorción, Carvajal y Marulanda, (2020), considera que la sorción viene a ser un tipo de adsorción debido a que presenta mecanismos y procesos de captura de iones metálicos, a diferencia de Tejada, Villabona y Ortega, (2020), que describen a la sorción como un fenómeno que se produce de manera pasiva por la unión del adsorbente y adsorbato en el cual se pueden aplicar métodos como la desorción para recuperar el biosorbente.

Referente a la adsorción química, Vizcaíno, et al., (2017), menciona que la materia seca vegetal es un buen biosorbente, pero es necesario conocer los grupos funcionales que poseen, así como su afinidad por los iones metálicos debido a que de ello depende su efectividad; sin embargo, Medellín, et al., (2017), en su investigación mostró que obtuvo resultados mejores al realizar modificaciones químicas de sus propiedades. Por otra parte, Villabona, et al., (2020), afirma que la capacidad de remoción de iones metálicos del biosorbente va a depender de ciertos parámetros controlables en el proceso de adsorción como el pH, el tamaño de partícula, la temperatura y la dosis de la biomasa.

V. CONCLUSIONES

- Los tipos de residuos agroindustriales que presentaron mejor capacidad de remoción de metales pesados como el Pb, Zn y Cr son las cáscaras de plátano, naranja, cacao y granadilla, mostrando valores entre 88.2% a 99.5% correspondientes al grupo de Frutos.
- El pretratamiento químico usando Ácido Cítrico mejora sobre residuos de palma aceitera logrando que alcancen niveles de remoción de níquel entre 77 y 95.2%, mientras que usando Hidróxido de Sodio sobre cáscaras de yuca alcanzan remociones de plomo entre 79.5 y 98.2% y finalmente el uso de HCl sobre cáscaras de naranja y bagazo de palma aceitera permiten remociones de cromo y zinc entre 97.1 y 95.8%.
- El factor químico es el de mayor relevancia en el proceso de remoción de metales pesados, pues la utilización de agentes de activación y ácidos para ajustar el pH en diversas concentraciones del agua contaminada, permite alcanzar niveles de remoción entre 71% al 99.5%.
- En base a la evaluación de la información recopilada, sobre las técnicas de pretratamiento de los residuos agroindustriales más importantes, se puede afirmar que alcanzan eficiencias de remoción por encima del 58%, siendo las de adsorción química la que muestra mejores resultados aun por encima del 70%.
- Al analizar el uso de los residuos agroindustriales se evidencio un alto potencial de estos, ya que presentan características muy importantes para remover metales pesados y de esta manera se pueda contribuir en la mitigación de estos contaminantes en aguas residuales industriales y al mismo tiempo el aprovechamiento de estos residuos agroindustriales, siendo a su vez una alternativa económicamente viable.
- Los residuos agroindustriales pretratados que muestran mayor capacidad para remover metales pesados en aguas residuales industriales son cáscaras de plátano, cáscaras de yuca, Acacia Gummifera, cáscaras de café y cáscaras de maní que corresponden a los grupos de Frutos, Tubérculos, Plantas, Granos y Frutos secos respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluaciones considerando los artículos de acceso restringido para tener conclusiones más generales y de mayor amplitud de veracidad.
2. Desarrollar más investigaciones con residuos agroindustriales poco estudiados para extender el conocimiento en cuanto al análisis y comparación de estos mediante una revisión sistemática.
3. Realizar investigaciones acerca del análisis de las propiedades del residuo agroindustrial para determinar que grupos funcionales contienen en su superficie, ya que los iones metálicos son susceptibles a estos, lo cual permite saber cuan eficiente puede llegar a ser el residuo agroindustrial.
4. Analizar las condiciones del agua residual contaminada con metales pesados para la comparación de la remoción, ya que varía significativamente de acuerdo al tipo de agua residual.
5. Realizar experimentos sobre la influencia que tienen los factores que estan involucrados en el proceso de remoción de metales pesados al usar residuos agroindustriales.
6. Unificar las condiciones del residuo agroindustrial con el tipo de pretratamiento empleado, la temperatura, pH y agente de activación, para obtener un bioadsorbente de calidad.
7. Optar por los residuos agroindustriales, ya que presentan características muy importantes para remover metales pesados y de esta manera se pueda contribuir en la mitigación de estos contaminantes en aguas residuales industriales y al mismo tiempo el aprovechamiento de estos residuos agroindustriales.

REFERENCIAS

ACOSTA, Henry, [et al.]. Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot Esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y Desarrollo* [en línea]. 2017, vol. 35, n°. 1, pp. 58-76 [Fecha de Consulta: 18 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85248898005>
ISSN: 0122-3461

BOTELLO, J., [et al.]. Ion Exchange Modeling of the Competitive Adsorption of Cu (II) and Pb (II) Using Chemically Modified Solid Waste Coffee. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea]. 27 de febrero de 2019, vol. 230, no. 3. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020].
Disponible en: <https://link.gale.com/apps/doc/A576261780/AONE?u=univcv&sid=bookmark-AONE&xid=b4172f59>

ISSN: 1573-2932

CAMPOS, Gabriel, [et al.]. Material adsorbente a base de desechos de maracuyá para eliminar plomo (Pb), cromo (Cr) y cobre (Cu) de aguas contaminadas con metales. *Actas de la conferencia AIP* [en línea]. 24 de abril de 2018, vol. 1952. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85046251712&noHighlight=false&relpos=0>

ISSN: 0094-243X

CARBONEL, Dalia. Adsorción de cadmio, cobre y plomo en bentonita, caolín y zeolita naturales y modificadas: Una revisión de los parámetros de operación, isothermas y cinética. *Revista de ingeniería* [en línea]. 2018, vol. 23, n°. 3. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2018000300252&lang=es

ISSN: 0121-750X

CARVAJAL, Elizabeth y MARULANDA, Luisa. Uso de residuos de café como biosorbente para la remoción de metales pesados en aguas residuales. *Ingenierías USBMed* [en línea]. 4 de agosto de 2020, vol. 11, n°. 1, pp. 44-55. [Fecha de Consulta: 4 de enero de 2021].

Disponible

en:

<http://www.revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/4477>

ISSN: 2027-5846

CASTILLO, Lourdes. Análisis documental. *Biblioteconomía* [en línea]. 2015, [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://www.uv.es/macass/T5.pdf>

CASTRO, Amy. Recolección de datos: Fichas. Facultad de Ciencias Médicas - Universidad de San Carlos de Guatemala [en línea]. Febrero de 2015, [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>

CASTRO, David, [et al.]. Chemical Modification of Agro-Industrial Waste-Based Bioadsorbents for Enhanced Removal of Zn (II) Ions from Aqueous Solutions. *Materials* [en línea]. 22 de abril de 2020, vol. 14, n°. 9, pp.2134. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/chemical-modification-agro-industrial-waste-based/docview/2530159056/se-2?accountid=37408>

ISSN: 1996-1944

CHOQUE, David, [et al.]. Heavy metal removal by biopolymers-based formulations with native potato starch/nopal mucilage. *Revista Facultad de Ingeniería* [en línea]. 20 noviembre de 2020. [Fecha de consulta: 26 de diciembre de 2020].

Disponible

en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.A747CC03&lang=es&site=eds-live>

ISSN: 0120-6230

CHUQUILLIN, Roberto y ROSALES, Dyana. Estudio de la biosorción de Cd (II) y Pb (II) usando como adsorbente. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea]. 2016, vol. 82, núm. 1. [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3719/371946049006.pdf>

ISSN: 1810-634X

CURY, Katia, [et al.]. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* [en línea]. 05 de mayo de 2017, vol. 9, no. S1. pp. 122-132. [Fecha de consulta: 26 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/530>

ISSN: 2027-4297

DÁVILA, Tatiana, [et al.]. Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: Remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA* [en línea]. 2017, vol. 15, n°. 1, pp.49-58. [Fecha de Consulta: 10 de enero de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117990>

ISSN: 1692-3561

ELHAFEZ, S., [et al.]. Management of Agricultural Waste for Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution: Adsorption Behaviors, Adsorption Mechanisms, Environmental Protection, and Techno-Economic Analysis. *Environmental Science and Pollution Research International* [en línea]. 01 de enero de 2017, vol. 24, no. 2. pp. 1397-1415. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/management-agricultural-waste-removal-heavy/docview/1956471934/se-2?accountid=37408>

ISSN: 0944-1344

ESPINOSA, Miguel, [et al.]. Adsorción de Cd (II) y Pb (II) presentes en solución acuosa con hueso de nanche (*Byrsonima crassifolia*). *Revista Colombiana de Química* [en línea]. Mayo/agosto 2020, vol. 49 n° 2. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2020].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/adsorción-de-cd-ii-y-pb-presentes-en-solución/docview/2436142016/se-2?accountid=201395>

ISSN: 0120-2804

GALLO, Jorge, [et al.]. Adsorción competitiva de níquel y plomo sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea]. Enero – junio 2018, vol. 16, n° 1. [Fecha de consulta: 03 de octubre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612018000100052&lang=es

ISSN: 1692-3561

GOVIN, Alexander, [et al.]. Caracterización de cepas de *Serratia marcescens* resistentes a metales pesados aisladas del yacimiento laterítico de Moa, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* [en línea]. Abril-septiembre 2020, vol. 51. n°3 [Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2020].

Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=146571642&lang=es&site=eds-live>

ISSN: 0253-5688

GUADALUPE, María, [et al.]. Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea]. 2017, vol. 16. n°31 [Fecha de consulta: 03 de octubre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242017000200055&lang=es

ISSN:1692-3324

HAMIDPOUR, Mohsen, [et al.]. Eliminación de cadmio (II) y plomo (II) en soluciones acuosas por residuos de casco de pistache. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Mayo 2018, vol. 34, n° 2. [Fecha de consulta: 03 de octubre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000200307&lang=es

ISSN: 0188-4999

HOWE, Kerry y HAND, David. Principios de tratamiento del agua [en línea]. 1ª ed.

México: Compañía de Cengage learning, Inc., 2017 [Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2020].

Disponible en: <http://www.ebooks7-24.com/?il=3818>

ISBN: 9780470405383

JAMOUSSE, Bassem, [et al.]. Efficiency of Acacia Gummifera powder as biosorbent for simultaneous decontamination of water polluted with metals. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea]. 01 de octubre de 2020, vol. 13, n°. 10, pp. 7459-7481. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535220303129>

ISSN: 1878-5352

HUAMANÍ, Gumercindo. La industria de la curtiembre y su incidencia en el medio ambiente de la ciudad de Lima. [en línea]. Perú 2016 [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2021].

Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1613>

JACOBO, Flor de Rocío. Aguas residuales urbanas y su efecto en la comunidad de Paso Blanco, Municipio de Jesús María, Aguascalientes. *Revista de el colegio de San Luis* [en línea]. 2018, vol.8 n°.16. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-899X2018000200267&lang=es

ISSN: 1665-899X

JARA, Enoc, [et al.]. Acumulación de metales pesados en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Revista Arnaldoa* [en línea]. 2017, vol. 24. n°. 2. [Fecha de consulta: 21 de octubre de 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a10v24n2.pdf>

ISSN: 2413-3299

LARA, José, [et al.]. Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista ION* [en línea]. 2016, vol. 29, n°. 2, pp. 113-124 [Fecha de Consulta: 15 de enero de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342050982010>

ISSN: 0120-100X

LLANOS, Oriana, [et al.]. La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Rev. P+L* [en línea]. Julio-diciembre de 2016, vol.11, n°. 2, pp. 150-160. [Fecha de Consulta: 12 de enero de 2021].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013&lng=en&nrm=iso

ISSN: 1909-0455

LONDOÑO, Luis. Riesgo de los metales pesados en el sector industrial. *Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea]. 2016, vol.14, n°. 2. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612016000200017&script=sci_abstract&tlng=es

ISSN: 1692-3561

MAINA, Irene, OBUSENG, Veronica y NAREETSILE, Florence. Use of *Moringa oleífera* (*Moringa*) seed pods and *Sclerocarya birrea* (*Morula*) nut shells for removal of heavy metals from wastewater and borehole water. *Journal of Chemistry* [en línea]. 25 agosto de 2016, vol. 2016. [Fecha de consulta: 24 de diciembre de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2016/9312952>

ISSN: 2090-9063

MEDELLÍN, Nahum, [et al.]. Bioadsorción de plomo (II) presente en solución acuosa sobre residuos de fibras naturales de *Agave lechiguilla* Torr. y *Yucca carnerosana* (Trel.) McKelvey de la industria ixtle. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. 2017, vol. 33, n°. 2. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37052723008>

ISSN: 0188-4999

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). *Perú: un país minero lleno de oportunidades* [en línea]. Perú 2019, pp. 1 [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2021].

Disponible en:

<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159>

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. *Sostenibilidad de los residuos sólidos*. [en línea]. Perú 2018, pp. 3 [Fecha de consulta: 04 de julio de 2021].

Disponible en: https://issuu.com/citeagroindustrialica/docs/in-18-002_sostenibilidad_de_los_residuos_agroindus

MOHUBEDU, Rebone, [et al.]. Magnetic valorization of biomass and biochar of a typical plant nuisance for toxic metals contaminated water treatment. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 01 de febrero de 2019, vol. 209, pp. 1016-1024. [Fecha de consulta: 06 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618332414>

ISSN: 0959-6526

MO, Wang, BEAL, Daniel, CHAN, David, et al. Investigación longitudinal: un panel de discusión sobre cuestiones conceptuales, diseño de investigación y técnicas estadísticas. *Trabajo, envejecimiento y jubilación* [en línea]. 1 de enero de 2017, vol. 3, n°. 1, pp. 1–24. [Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1093/workar/waw033>

ISSN: 2054-4650

PRIETO, Ana. Tipos de investigación. Publicado en blogger. Universidad Abierta y a Distancia de México. [en línea]. 1 de agosto, 2017, pág. 2 [Fecha de consulta: 29 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://jose-mario-balderas-reyes-unadm.blogspot.com/2017/08/tipos-de-investigacion.html>

RODRÍGUEZ, M., [et al.]. Remoción de cobre (II) en sistemas acuosos usando cápsulas de *Moringa Oleifera*: Influencia del pH. *Acta Microscopica* [en línea]. 2016, vol. 25, n°. 1, pp. 28–38 [Fecha de consulta: 20 de enero de 2021].

Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=119833686&lang=es&site=eds-live>

ISSN: 0798-4545

RUIZ, Erika, [et al.]. Remoción de Níquel (II) y Cromo (VI) en solución acuosa usando adsorbentes de origen agroindustrial. *Revista de Información Tecnológica* [en línea]. Diciembre 2019, vol. 30, n°. 6. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2020].

Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600003&lang=es

ISSN:0718-0764

SCHWANTES, Daniel, [et al.]. Modified grape stem as a renewable adsorbent for cadmium removal. *Water Science & Technology* [en línea]. 28 de diciembre de 2018, vol. 78, n°. 11. [Fecha de consulta: 2 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.511>

ISSN: 2308-2320

TAPIA, P., [et al.]. Removal of copper ions with organic sorbents. *HOLOS; Natal* [en línea]. 2017, vol. 33, n°. 8, pp. 42-55. [Fecha de Consulta: 4 de enero de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/remoción-de-iones-cobre-con-sorbentes-orgánicos/docview/1988381836/se-2?accountid=201395>

ISSN: 1518-1634

TEJADA, Candelaria, GONZÁLEZ, Ángel y VILLABONA, Ángel. Caracterización de biomásas residuales y su aplicación para la eliminación de iones de plomo de una solución acuosa. *Revista Ciencias Aplicadas (Suiza)* [en línea]. 23 de octubre de 2019, vol. 9, n°. 21. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/21/4486/htm>

ISSN: 2076-3417

TEJADA, Candelaria, MONTIEL, Zaida, [et al.]. Aprovechamiento de las cáscaras de yuca y ñame para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Pb (II). *Revista Centro de Información Tecnológica* [en línea]. 2016, vol. 27, n°. 1. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020].

Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000100003

ISSN: 0718-0764

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Ángel y GARCÉS, Luz. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Instituto Tecnológico Metropolitano – Colombia* [en línea]. Enero – junio 2015, vol. 18, n° 34, pp. 109-123. [Fecha de consulta: 03 de octubre de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234336010>

ISSN: 0123-7799

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Angel y RUIZ, Erika. Adsorción de Ni (II) por cáscaras de ñame (*Dioscorea Rotundata*) y bagazo de palma (*Elaeis Guineensis*) pretratadas. *Revista Luna Azul* [en línea]. 2016, núm. 42, pp. 30-43 [Fecha de Consulta: 18 de marzo de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321744162004>

ISSN: 1909-2474

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Angel y ORTEGA, Rodrigo. Cr (VI) biosorption: Effect of temperatura, particle size and bed height. *Revista de Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* [en línea]. Julio-septiembre 2020, n°. 96, pp. 78-86. [Fecha de Consulta: 4 de enero de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/cr-vi-biosorption-effect-temperature-particle/docview/2413557256/se-2?accountid=201395>

ISSN: 0120-6230

TEJADA, Candelaria, VILLABONA, Angel y OSORIO, Laura. Effect of the temperature, initial concentration of contaminant and dose of adsorbent in in the removal of Níquel (II) using agro- industrial residues. *Prospectiva* [en línea]. Enero-junio 2020, vol. 18, n°. 1, pp. 24-31. [Fecha de Consulta: 4 de enero de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7300375>

ISSN: 1692-8261

THOMPSON, Chime, NDUKWE, Agu y ASADU, Christian. Application of activated biomass waste as an adsorbent for the removal of lead (II) ion from wastewater. *Emerging Contaminants* [en línea]. 29 de julio de 2020, vol. 6, pp. 259-267. [Fecha de consulta: 24 de septiembre de 2020].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405665020300226>

ISSN: 2405-6650

VALLADARES, María, [et al.]. Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* [en línea]. 2017, vol. 16, n°. 31, pp.55-73. [Fecha de consulta: 12 de enero de 2021].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n31/1692-3324-rium-16-31-00055.pdf>

ISSN: 1692-3324

VERA, Mayra, [et al.]. Modelo en columna de lecho fijo para la bioadsorción de Cd²⁺ y Pb²⁺ con cáscara de cacao. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. 2018, vol. 34, n°. 4 [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37058510006>

ISSN: 0188-4999

VILLABONA, Angel, [et al.]. Adsorption thermodynamics of Cr (VI) removal by using agro-industrial waste of oil palm bagasse and plantain peels. *Ingeniería e investigación* [en línea]. 2020, vol. 40, n°. 3. [Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2020].

Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/article/view/83709>

ISSN: 0120-5609

VILLABONA, A., [et al.]. Modelling of the adsorption kinetics of chromium (VI) using waste biomaterials. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea]. 24 de julio 2019, vol. 19, n°. 1. [Fecha de consulta: 25 de diciembre de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA650>

ISSN: 1665-2738

VILLENA, Jorge. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* [en línea]. abril - junio 2018, vol. 35, n°. 2. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200019&lang=es

ISSN: 2213-3437

VIZCAÍNO, Lissette y FUENTES, Natalia. Biosorption of Cd, Pb and Zn by pretreated biomass red algae, orange peel and tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea]. Enero-junio 2015, vol. 25, n°. 1, pp. 43-60. [Fecha de consulta: 3 de enero de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/biosorción-de-cd-pb-y-zn-por-biomasa-pretratada/docview/1692251202/se-2?accountid=201395>

ISSN: 0124-8170

VIZCAÍNO, Lissette, [et al.]. Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica* [en línea]. 2017, [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2020].

Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000200021&lang=es

ISSN: 0123-4226

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de categorización apriorística

Ámbito temático	Problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
Residuos agroindustriales pretratados y su capacidad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales	¿Qué residuos agroindustriales pretratados muestran mayor capacidad para remover metales pesados en aguas residuales industriales y que han sido reportadas en literatura científica de acceso libre?	¿Cuáles son los residuos agroindustriales pretratados que presentan mayor capacidad para remover metales pesados de aguas residuales industriales?	Analizar el uso de los residuos agroindustriales pretratados en la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales.	Evaluar los tipos de residuos agroindustriales que presentan mejor capacidad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales.	Residuos agroindustriales	Tubérculos
		Frutos				
		Granos				
		Frutos secos				
		Plantas				
		Trituración mecánica				
		Térmica				
		Químicos		Químicos	Hidroextracción	
		Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇)				
		Hidróxido de sodio (NaOH)				
		Ácido clorhídrico (HCl)				
		Físicos		Físicos	Velocidad de agitación	
Tiempo de contacto						
Tamaño de partícula						
Temperatura						
Químicos	Químicos	Dosis				
Agentes de activación						
pH						
Concentración inicial del metal pesado						
Sorción	Sorción	Quimisorción				

metales pesados de aguas residuales industriales haciendo uso de residuos agroindustriales pretratados?

Evaluar las técnicas más eficientes para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales con residuos agroindustriales pretratados.

Adsorción

Absorción

Fisisorción

Química

Física

Pasiva

Activa

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Ficha de recolección de datos

Autor	Grupo	Tipos de residuos agroindustriales	pH	Temperatura (°C)	V. Agitación (rpm)	Tiempo (min)	Metal	Concentración mg/L		Eficiencia (%)	Técnica de remoción
								Inicial	Final		
Tejada, González y Villabona (2019)	Tubérculos	Cáscara de Yuca	6	30	200	300	Pb (II)	100	1.8	98.2	Adsorción
Gallo, et al., (2018)		Cáscara de Ñame	6	25	200	150	Pb (II)	100	3.5	96.5	Adsorción
Tejada, Villabona y Osorio, (2020)		Almidón de Ñame	6	55	200	1440	Ni (II)	200	23.9	88.1	Adsorción
Choque, et al., (2020)		Almidón de papa	5	60	30	100	Arsénico	5	2.2	56.8	Adsorción
Castro, et al., (2020)		Cáscara de naranja	7	60	150	240	Zinc	100	2.9	97.1	Adsorción
Lara, et al., (2016)	Frutos	Cáscara de cacao	6	30	200	270	Pb (II)	100	8.7	91.3	Adsorción
Espinosa, et al., (2020)		Hueso de nanche	7	25	200	240	Pb (II)	100	12.0	88.0	Adsorción
Villabona, et al., (2020)		Cáscara de plátano	2	30	200	1440	Cr (VI)	100	0.5	99.5	Adsorción
Tapia, et al., (2017)		Semilla de durazno	5.06	17	700	60	Cu (II)	20	9.9	50.5	Sorción
Castro, et al., (2020)		Cáscara de granadilla	7	60	150	240	Zinc	100	11.8	88.2	Adsorción
Choque, et al., (2020)		Mucílago de cactus (Tuna)	5	60	30	100	Pb (II)	5	1.3	73.2	Adsorción
Carvajal y Marulanda, (2020)		Granos	Café molido	5	25	200	200	Ni (II)	100	6.0	94.0
Carvajal y Marulanda, (2020)	Cáscara de café		5	25	200	200	Pb (II)	100	5.2	94.8	Sorción

Botello, et al., (2019)	Frutos secos	Café gastado (borra)	5	30	200	120	Pb (II)	100	18.0	82.0	Adsorción
Elhafez, et al., (2017)		Cáscara de arroz	2	25	200	120	Cr (VI)	100	40	60	Adsorción
Hamidpour, et al., (2018)		Cáscara de pistache	7	28	150	120	Cd (II)	48	4.4	90.8	Adsorción
Rodríguez, et al., (2016)		Cápsulas de moringa oleífera	7	25	200	120	Cu (II)	8	2.3	71.0	Adsorción
Tapia, et al., (2017)		Cáscara de nuez (almendra)	5.06	17	700	60	Cu (II)	20	7.6	62.0	Sorción
Tapia, et al., (2017)		Cáscara de avellana	5.06	17	700	60	Cu (II)	20	9.7	51.5	Sorción
Thompson, Ndukwe y Asadu (2020)		Cáscara de maní	7.6	60	200	100	Pb (II)	100	7.7	92.3	Adsorción
Mohubedu, et al., (2019)		Bellota	6	54	200	180	Pb (II)	100	20.5	79.5	Adsorción
Villabona, et al., (2020)		Bagazo de palma aceitera	2	30	200	1440	Cr (VI)	100	4.2	95.8	Adsorción
Medellín, et al., (2017)		Lechuguilla (Penca)	5	35	300	15	Pb (II)	100	6.1	93.9	Adsorción
Medellín, et al., (2017)	Plantas	Palma samadoca (yuca carnerosana)	5	35	300	15	Pb (II)	100	17.0	83.0	Adsorción
Vizcaíno, et al., (2017)		Tallos de Jacinto de agua	5.5	28.5	200	180	Pb (II)	200	8.8	95.6	Adsorción
Vizcaíno, et al., (2017)		Hojas de Jacinto de agua	5.5	28.5	200	180	Pb (II)	200	6.9	96.5	Adsorción
Jamoussi, et al., (2020)		Acacia Gummifera (Hojas de arbusto)	6.5	35	350	15	Pb (II)	100	3.0	97.0	Absorción
Schwantes, et al., (2018)		Tallo de uva	5	25	200	240	Cd (II)	10	3.4	66.0	Sorción

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Tabla complementaria

Registro de artículos								
N°	Plataformas de búsqueda	Revistas indexadas	Tipo de investigación	Idioma	Autor(es)	Diseño de la investigación	Año de publicación	País
01	Scielo	Revista Centro de Información Tecnológica	Revista	Inglés	Tejada, Montiel, et al.	Experimental	2016	Colombia
02	Scielo	Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica	Revista	Inglés	Vizcaino, et al.	Experimental	2017	Colombia
03	Scielo	Revista de Información Tecnológica	Revista	Inglés	Ruiz, et al.	Experimental	2019	Colombia
04	Scielo	Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial	Revista	Español	Gallo, et al.	Experimental	2018	Colombia
05	Scielo	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Revista	Inglés	Hamidpour, et al.	Experimental	2018	México
06	Scielo	Revista de Producción y Limpia	Revista	Español	Llanos, et al.	Experimental	2016	Colombia
07	Redalyc	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Revista	Español	Vera, et al.	Experimental	2018	Ecuador
08	Redalyc	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Revista	Español	Medellín, et al.	Experimental	2017	México
09	Redalyc	Ingeniería y desarrollo	Revista	Español	Acosta, et al.	Experimental	2017	Colombia
10	Redalyc	Revista ION	Revista	Español	Lara, et al.	Experimental	2016	Colombia
11	Redalyc	Luna Azul	Revista	Español	Tejada, Villabona y Ruiz	Experimental	2016	Colombia
12	ProQuest	Revista Colombiana de Química	Revista	Español	Espinosa, et al.	Experimental	2020	México
13	ProQuest	Revista de Facultad de Ingeniería	Revista	Inglés	Tejada, Villabona y Ortega	Experimental	2020	Colombia
14	ProQuest	HOLOS; Natal	Revista	Inglés	Tapia, et al.	Experimental	2017	Chile
15	ProQuest	Environmental Science and Pollution Research International	Revista	Inglés	Elhafez, et al.	Experimental	2017	Egipto

16	ProQuest	Materials	Revista	Inglés	Castro, et al.	Experimental	2020	Rumanía
17	ProQuest	Revista Ciencias Aplicadas (Suiza)	Revista	Inglés	Tejada, González y Villabona	Experimental	2019	Colombia
18	ScienceDirect	Emerging Contaminants	Revista	Inglés	Thompson, Ndukwe y Asadu	Experimental	2020	Nigeria
19	ScienceDirect	Journal of Cleaner Production	Revista	Inglés	Mohubedu, et al.	Experimental	2019	Sudáfrica
20	ScienceDirect	Arabian Journal of Chemistry	Revista	Inglés	Jamoussi, et al.	Experimental	2020	Francia
21	Scopus	Ingeniería e investigación	Revista	Inglés	Villabona, et al.	Experimental	2020	Colombia
22	Scopus	Journal of chemistry	Revista	Inglés	Maina, Obuseng y Naretsile	Experimental	2016	Botsuana
23	Scopus	Revista Mexicana de Ingeniería Química	Revista	Inglés	Villabona, et al.	Experimental	2019	Colombia
24	Dialnet	Prospectiva	Revista	Español	Tejada, Villabona y Osorio	Experimental	2020	Colombia
25	Dialnet	Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA	Revista	Español	Dávila, et al.	Experimental	2017	Colombia
26	Ebsco	Revista de Facultad de Ingeniería	Revista	Inglés	Choque, et al.	Experimental	2020	Colombia
27	Ebsco	Acta Microscopicas	Acta de congreso	Español	Rodríguez, et al.	Experimental	2016	Venezuela
28	Gale one file	Ingenierías USBMed	Revista	Español	Carvajal y Marulanda	Experimental	2020	Colombia
29	Gale one file	Water Science & Technology	Revista	Inglés	Schwantes, et al.	Experimental	2018	Brasil
30	Gale one file	Water, Air, & Soil Pollution	Revista	Inglés	Botello, et al.	Experimental	2019	Suiza

Fuente: Elaboración propia