



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Biomásas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Revisión sistemática y metanálisis.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Cruz Herrera, Evelyn Thalía (ORCID: 0000-0003-3847-2196)

Jimenez Garcia, Katy Marlene (ORCID: 0000-0002-6529-6661)

ASESOR:

Dr. Ing. Benítez Alfaro, Elmer Gonzales (ORCID: 0000-0003-4574-5666)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Cruz Herrera Evelyn:

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres Hermogenes Cruz y María Luz Herrera, por estar siempre en los momentos que mas los necesito, dándome buenos consejos para ser una persona que nunca se rinde hasta conseguir sus metas, gracias por su apoyo en mi formación como profesional, los amo mucho.

Jimenez Garcia Katy:

Dedico de manera especial a mis padres Ancelmo Jimenez y Noemi Garcia por haberme forjado por la persona como soy en la actualidad, por la motivación constante para alcanzar mis anhelos, por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, muchos de mis logros se los debo a ustedes. A mis hermanos Michel Jimenez por el apoyo brindado y Adriano Jimenez por haberme ofrecido el amor y la calidez de la familia a la cual amo.

Gracias padre, madre y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Cruz Herrera Evelyn:

Agradezco a mis formadores profesionales, ya que gracias a ellos tenemos los conocimientos para ser unos buenos Ingenieros ambientales, a mis padres por el apoyo económico y a mis hermanos que siempre están alentándome a salir adelante.

Jimenez García Katy:

En primera instancia agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, a mis padres y hermano mayor por la confianza, el apoyo económico y el constante ánimo para culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional.

Índice de contenidos

	Pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	27
3.1 Tipo y diseño de investigación	27
3.2 Variables	28
3.3 Población, muestra y muestreo	28
3.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	30
3.5 Procedimientos	31
3.6 Métodos de análisis de datos	36
3.7 Aspectos éticos	37
IV. RESULTADOS	39
V. DISCUSIÓN	59
VI. CONCLUSIONES	62
VII. RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	64
ANEXOS	74

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones	22
Tabla 2. Toxicología de los metales pesados	23
Tabla 3. Fuentes de contaminación y efectos de metales pesados recurrentes.	24
Tabla 4. Aplicación de Escala Newcastle-Ottawa	31
Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro Wilk	35
Tabla 6. Muestras de Biomosas Residuales implementadas en la mitigación de polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	37
Tabla 7. Biomosas Residuales usadas en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	38
Tabla 8. Correlación tipo de biomosas residuales y mitigación de la polución por metales pesados.	39
Tabla 9. Capacidad de las Biomosas Residuales para mitigar la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	40
Tabla 10. Correlación entre concentración inicial y final de las biomosas para mitigar metales pesados en cuerpos naturales de agua.	41
Tabla 11. Propiedades Físico Químicas de las biomosas residuales que inciden en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	42
Tabla 12. Correlación entre la propiedad físico-química pH y la concentración final de los metales pesados.	43
Tabla 13. Correlación de la Propiedad físico-química Temperatura y la concentración final de los metales pesados.	44
Tabla 14. Correlación de la propiedad físico química frecuencia (rpm) la concentración final de los metales pesados.	44
Tabla 15. Correlación de la propiedad físico-química Tiempo y la concentración final de los metales pesados.	45
Tabla 16. Efectividad de las Biomosas Residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	46
Tabla 17. Niveles de efectividad de las Biomosas Residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.	47

Tabla 18. Correlación entre la mitigación de la contaminación por metales pesados y la efectividad de las biomásas.	48
Tabla 19. Efectividad de las biomásas residuales sobre Arsénico (As).	48
Tabla 20. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Cadmio (Cd)	49
Tabla 21. Efectividad de las biomásas residuales sobre Cobalto (Co)	50
Tabla 22. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Cromo (Cr)	50
Tabla 23. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Cobre (Cu)	51
Tabla 24. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Mercurio (Hg)	52
Tabla 25. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Magnesio (Mg)	53
Tabla 26. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Manganeso (Mn)	53
Tabla 27. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Níquel (Ni)	54
Tabla 28. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Plomo (Pb)	55
Tabla 29. Efectividad de las biomásas residuales sobre el Zinc (Zn)	56

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Porcentaje de efectividad de las Biomosas Residuales sobre el Arsénico (As).	49
Figura 2. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Cadmio (Cd)	49
Figura 3. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Cobalto (Co)	50
Figura 4. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Cromo (Cr)	51
Figura 5. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Cobre (Cu)	52
Figura 6. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Mercurio (Hg)	52
Figura 7. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Magnesio (Mg)	53
Figura 8. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Manganeso (Mn)	54
Figura 9. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Níquel (Ni)	54
Figura 10. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Plomo (Pb)	55
Figura 11. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Zinc (Zn)	56

Resumen

La investigación tuvo como objetivo analizar el uso de las biomásas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. El estudio se realizó bajo una investigación básica, no experimental, documental-descriptiva; tomó una muestra de 40 estudios, seleccionados mediante revisión sistemática y escala Newcastle-Ottawa (2019), considerando criterios de representatividad, remoción, mecanismos, toxicidad, seguimiento y efectividad de las biomásas residuales; la búsqueda se realizó en bases de datos de alto impacto como: EBSCO, Proquest, Pubmed, Scielo, Bioline, entre otras. Los estudios permitieron identificar la capacidad de mitigación de las diversas biomásas residuales calculada mediante programa estadístico SPSS 22 y coeficiente de correlación Rho de Spearman, que arrojó $p=0,035$ indicando que a mayor variedad de biomásas varía la capacidad de mitigación. Por su parte, las propiedades físico-químicas de las biomásas inciden también en la capacidad de mitigación, estadísticamente se obtuvo como correlaciones para pH $p=0,043$; temperatura $p=0,032$; rpm $p=0,030$, y tiempo $p=0,030$; asimismo, se obtuvo que las biomásas tienen una efectividad alta del 65%. El estudio permite concluir que las biomásas residuales pueden ser usadas para mitigar la polución por metales pesados en cuerpos de agua.

Palabras claves: biomásas residuales, polución, metales pesados, cuerpos de agua.

Abstract

The research aimed to analyze the use of residual biomass in mitigating heavy metal pollution in natural bodies of water. The study was carried out under a basic, non-experimental, documentary-descriptive investigation; took a sample of 40 studies, selected through a systematic review and the Newcastle-Ottawa scale (2019), considering criteria of representativeness, removal, mechanisms, toxicity, monitoring and effectiveness of residual biomasses; The search was performed in high impact databases such as: EBSCO, Proquest, Pubmed, Scielo, Bionline, among others. The studies allowed identifying the mitigation capacity of the various residual biomasses calculated using the SPSS 22 statistical program and Spearman's Rho correlation coefficient, which yielded $p = 0.035$, indicating that the greater the variety of biomasses, the mitigation capacity varies. On the other hand, the physico-chemical properties of the biomasses also affect the mitigation capacity, statistically it was obtained as correlations for pH $p = 0.043$; temperature $p = 0.032$; rpm $p = 0.030$, and time $p = 0.030$; Likewise, it was obtained that the biomasses have a high effectiveness of 65%. The study allows to conclude that the residual biomasses can be used to mitigate the pollution by heavy metals in bodies of water.

Keywords: residual biomass, pollution, heavy metals, bodies of water.

I. INTRODUCCIÓN

El vertiginoso crecimiento demográfico, conjuntamente con la industrialización, han traído como consecuencia un impacto negativo en la naturaleza, bien sea por la invasión de espacios naturales, la explotación desmesurada de minerales, la polución de recursos hídricos, como consecuencia de efluentes industriales que tienden a incrementar los niveles de metales pesados que, generalmente, pueden contenerse en pequeñas cantidades en el agua, trayendo como consecuencia un grave desequilibrio en la vegetación y reino animal, así como en la vitalidad de las poblaciones.

Ante lo expuesto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018) expone que: la insuficiencia de líquido, las dificultades respecto a sus condiciones, y el tratamiento adecuado del mismo, inciden perjudicialmente sobre la seguridad alimentaria, nutricional, así como en el desarrollo educativo y económico de las familias de bajos recursos a nivel mundial (p.42). Siendo así, la mitigación de la contaminación del agua es más que un prominente problema ambiental, y de sanidad pública, un reto para los países, quienes deben recurrir a estrategias que le permitan preservar este recurso tan vital.

En el caso específico de Perú, de acuerdo con información aportada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2014), en la metrópolis se generan a diario 1`202,286 m³ de aguas residuales, de estas sólo un 21% aproximadamente son tratadas, aunada las fallas en las infraestructuras de las plantas de tratamiento, insuficientes para atender la demanda actual, atenuando la polución en los cuerpos naturales de agua, además de la proliferación de focos de infección y malos olores (citado por PUCP, 2014).

Adicionalmente, se tiene que los procesos mineros y explotación de hidrocarburos tiene una alta incidencia en la contaminación hídrica, con metales pesados como el Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Arsénico (As), mercurio (Hg), cromo (Cr), zinc (Zn), cobre (Cu), estaño (Sn), entre algunos de los que destacan, trayendo consecuencias nefastas para la población y los ecosistemas.

Al respecto, el Ministerio de Salud (MINSA, 2018), registró a través de resolución ministerial 979-2018, que 4.867 personas se encontraban afectadas por metales tóxicos, adquiridos a través del consumo de agua contaminada, y en

el mismo documento, reconoció para el 2017, alrededor de 11 mil pasivos ambientales distribuidos entre la actividad minera y la explotación de hidrocarburos.

Siendo, esta una realidad ineludible, se han realizado diversas investigaciones y propuestas en aras de disminuir la presencia de metales pesados en las extensiones de agua natural, como un elemento primordial de todas las acciones del país, no obstante, estas siguen implicando una gran inversión económica.

En atención a esta problemática, se han generado propuestas alternativas, entre ellas la biotecnología, técnica que permite mediante la bio descontaminación la separación de metales brutos, que de acuerdo con Cardona, Cabañas y Zepeda (2013), se produce cuando los iones de carga negativa presentes en el metal se ajustan por electrostática recíproca a los espacios donde se ubican los aniones, áreas que a su vez, sirven de medio para la adsorción, y se localizan “en los grupos de los carboxilo, hidroxilo, amino, y sulfónico; elementos bases de los plásticos de origen natural (p.56).

En este sentido, la ejecución técnica de índole biotecnológica, es una potencial solución a la polución ambiental, mediante el empleo de entidades vivas (vegetación, animales o microbios), a través de las cuales actúa la biosorción, permitiendo la elisión de los metales brutos por la coalición neutral a biomasa no viva partiendo de recursos acuáticos, auto transformando la polución hídrica (Garcés, y Romero, 2012).

Cabe destacar, que la biomasa se considera como una parte de descomposición natural de bienes, desperdicios y restos de principios orgánicos que provienen del desarrollo agrario, incluido las vegetales y animales, así como reforestación, y empresas ligadas al sector, la acuicultura, pesca, incluyendo además los restos de la actividad industrial y municipal (IDAE 2008, Citado por De Lucas & Del Peso, 2012). De este modo, se procura a través de las biomásas residuales el aprovechamiento de los mismos materiales biológicos, desechos industriales y urbanísticos para combatir la contaminación del agua, valiéndose de su propio proceso metabólico, convirtiéndose en una herramienta viable, competente y económica para la mitigación de la polución por metales en estado bruto en los cuerpos naturales de agua.

La importancia de esta investigación reside en el aporte académico, ambiental y social a aportar. Actualmente existen políticas, y legislaciones que regulan los procesos industriales, y establecen parámetros para disminuir la influencia de sus prácticas en la naturaleza, no obstante, la mayoría se queda sólo en papel, las poblaciones y el ambiente siguen sufriendo estragos.

Es por ello, que esta investigación recopila mediante el análisis de varias investigaciones, información relevante y actual, que permiten ampliar la visión de estudios, la trascendencia y efectividad de métodos ambientales, permitiendo compilar a nivel académico el estado del arte del mismo.

Por su parte, el aporte ambiental deviene de la implementación de nuevas biotecnologías enfocadas en el uso de biomasa residual para combatir la polución del agua en diversos contextos de aplicación, que además son herramientas de bajo costo y sin efectos ambientales adversos, que brindan soluciones en el presente y futuro. De esta manera, el aporte social es evidente, ya que considerando estos métodos innovadores se reduce la contaminación del agua, vital líquido que es indispensable en la realización de cualquier labor, además del cuidado de la vida en general, la salud pública y la alimentación como triada social base.

De acuerdo con lo expuesto, el estudio se plantea las siguientes interrogantes: ¿La mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua depende del tipo de biomasa usada? ¿Cuál es la capacidad de mitigación que tienen las diversas biomásas residuales sobre estos metales? ¿Cuáles son las propiedades físico-químicas de las biomásas residuales que inciden en la mitigación de la polución por metales? ¿Cuál es la efectividad que tienen las biomásas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua?

Asimismo, se desprenden las siguientes hipótesis: El uso característico de biomásas residuales incide en la mitigación la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Las biomásas residuales no tienen la misma capacidad de mitigación de la polución por metales pesados. Las propiedades físico-químicas de las biomásas residuales inciden sobre la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Las biomásas

residuales son efectivas para mitigar la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

A razón de lo expuesto, el estudio tiene como objetivo principal analizar el uso de las biomosas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Como objetivos específicos identificar la capacidad de mitigación que tienen las diversas biomosas residuales sobre la polución por metales pesados, Identificar las propiedades físico-químicas que inciden en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua y Determinar la efectividad de las biomosas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Mediante una revisión sistemática y metanálisis.

II. MARCO TEÓRICO

Dentro del marco de estudios nacionales, se ubica a Gutiérrez (2015) con su investigación denominada “Estudio de la Bioadsorción de Cadmio y Plomo con Biomasa de *Serratia Marcescens* M8a-2T, a Nivel de Laboratorio”. El estudio tuvo enfocado en diseñar un proceso biotecnológico de biorremoción de cadmio y plomo empleando una cepa nativa resistente a cadmio y plomo. A tales fines se evaluaron 122 cepas, a las cuales se les realizaron pruebas de resistencia, velocidad de crecimiento, así como su capacidad de producción. Los resultados indicaron que la biomasa M8a-2T logró una remoción de 99.97% de cadmio con un pH 5 y 97% de plomo a pH 5, en un lapso de 30 minutos de enfrentamiento, con 150 rpm y 45°C, por metal estudiado. Para la obtención de esta información, el estudio se apoyó en el Modelo Isotérmico Langmuir. Se concluyó que la cepa es óptima y eficaz en procesos de bioadsorción de metales pesados como Cd y Pb.

Asimismo, Miranda (2017) llevó a cabo una investigación en Puno, denominada “Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (*Globulus labill*)”, bajo la cual se procedió a la preparación de material biosorbente partiendo de hojas residuales de eucalipto, con una activación ácida que permitió su modificación química molecular, con cambios de intensidad (%T) de vibración espectral de átomos de hidrógeno, carbono y de enlaces de grupos funcionales responsables de la absorción. La biosorción de las soluciones acuosas se hizo bajo un pH 1, sorbente 3g. L⁻¹, a 40°C, agitación de equilibrio de 30 minutos a 100 rpm, para ello se utilizó el proceso discontinuo batch. Se concluye que este tipo de biomasa es ajustable a la remoción del cromo aguas residuales de origen industrias de curtiembre con niveles de Cr (VI) mayores a 2,3 mg.L.

Análogamente, Del Carpio (2017) se enfocó en “estudiar la bio adsorción de metales como el Plomo y el cadmio, empleando como biomasa la *Escherichia Coli* aislada de las aguas contaminadas del Río Huatanay de la ciudad del Cusco”, para ello realizó el aislamiento de tres cepas subyugadas a pruebas de resistencia, las más fuertes, se plantaron en caldo nutritivo, logrando 15.6 y 31 mg

de biomasa/ L, seleccionando la cepa RHC-06 para las pruebas respectivas de Pb y Cd, colocadas en contacto con la biomasa, bajo agitación 150 rpm y 40°C.

Ambos metales se calcularon por espectrofotometría de absorción atómica. Las condiciones óptimas para la obtención de la efectividad fue un pH 1, aplicados para el plomo y el cadmio por igual, el tiempo empleado fue de 90 min para Pb y 30 min para Cd, se apoyó del modelo Freundlich y Langmuir respectivamente, modelos que mostraron que para el plomo y el Cadmio la bioadsorción se ajusta al 78%, con una capacidad máxima (Q_{max}) de 0,60 mg de Cd / g. El estudio concluye que la biomasa *Escherichia coli* es capaz de interactuar con ambos metales a nivel superficial mediante interacciones físico-químicas.

En esta misma línea de investigaciones, Ccencho (2018) realizó un estudio sobre la adsorción del metal arsénico, utilizando la cáscara de plátano. Para ello, se analizaron los parámetros físicos y químicos del agua, siendo la bioadsorción más eficiente de 26,43 mg/L a 12,34mg/l, a una velocidad inicial de 120 RPM y velocidad final de 150 RPM, un tiempo residencia de 18 horas, con un pH de 6, conductividad de 1506 μ S/cm y un potencial redóx positivo. Se puede concluir que esta biomasa es recomendable en este proceso ya que el arsénico en su inicio fue de 0.1 mg/L y en el final 0.0827 mg/L.

Adicionalmente, Chacaltana (2018) llevo a cabo un estudio donde prueba la efectividad de la borra de café como bioadsorbente en la disminución de metales como el Cadmio y Plomo presentes en el río Añasmayo sector la Perla- Huaral, 2018, la investigación tuvo como objetivo determinar a través del análisis fisicoquímico la eficacia de esta biomasa residual para minimizar los niveles de Cd y Pb que se hayan presentes en el río, cuerpo natural que contiene altos niveles de toxicidad, como consecuencia del vertimiento de aguas residuales y geolocalización, a razón de ello se propone partiendo de esta misma polución emplearla como un bioadsorbente. Para ello, se tomaron muestras de dicho afluente, y se realizaron pruebas de laboratorio, y fueron comparadas con los estándares de calidad ambiental (ECA). Los resultados indicaron que la borra de café tratada con 30g pre tratada con NaOH 0.1 N, logró una bioadsorción de 96.54% para el Cadmio y un 94.05% para el Plomo. El estudio concluye su eficiencia en la reducción de metales pesados, e indica que hay factores que

indican en los resultados, entre ellos el nivel de concentración de los metales en el agua, esto considerando que las muestras tomadas del río Añasmayo fueron superiores a los límites indicados en el ECA.

Por su parte, Lazarte, Nonato y Vallejos (2019) evaluaron la capacidad de la "cáscara de maracuyá para la bioadsorción de metales pesados como el cobre y zinc en aguas del río Chillón". Tomaron cuatro muestras de agua para la bioadsorción con el polvo de maracuyá a diferentes cantidades (5g/L y 10g/L) y N° de mallas (250µm y 850µm). El nivel de concentración en el inicio fue de 8.440 mg/L para el cobre y de 0,418 mg/L para el zinc. Obteniendo como concentraciones finales para las muestras de agua con cobre 7.399, 6.529, 4.1196 y 4.0357 mg/l, en tanto la muestra de agua con zinc fue de 0.3880, 0.2695, 0.0341 y 0.0237 mg/L. Como resultado final en la remoción para el cobre fue de 52.2 % utilizando 10 g/L de polvo de cáscara de maracuyá con un tamaño de partícula de 850µm y para el zinc es 94.3 % con las mismas características. Se concluye que para el metal Zinc tuvo mayor reducción con la cáscara de maracuyá, debido que el resultado obtenido está en la normativa estándares de calidad ambiental ECA.

En este marco de investigaciones, Sandoval (2019) señaló la "Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor* L) en la remoción de cadmio en aguas residuales" el estudio estuvo centrado en evaluar la eficiencia de las biomásas antes descritas, se realizaron dos módulos pilotos con agua simulada que bajo una concentración de 2mg/l y observación continua, se obtuvo como resultado que los valores de parámetros físicos como pH, conductividad eléctrica, temperatura y valores de concentraciones de cadmio son determinantes en su capacidad de remoción. Los resultados indican que bajo un pH 8, 60 ° C, una frecuencia de 100 rpm y 60min, presentaron un 75% de eficiencia para la *Eichhornia crassipes* y 60% para *Lemna minor* L.

Dentro de estos estudios, Yrigoin (2019) presentó la "Eficiencia de la pectina de cáscara de naranja para disminuir la concentración de arsénico en aguas de Mórrope" donde se halló una alta concentración de Arsénico, para lo cual se utilizó un proceso de adsorción mediante pectina de cáscara de naranja, con ayuda de la prueba de jarras y procedimientos de decantación. En los análisis realizados, se pudo medir la concentración inicial de Arsénico de 0,5mg/l, luego

se aplicó distintas dosis de pectina de cáscara de naranja en una muestra a distintos pH, destacando la dosis de 4g aplicada a la muestra de agua de pH 5, donde se logra disminuir la concentración de Arsénico a niveles no detectables.

Dentro de las investigaciones realizadas a nivel internacional, se ubica a Decker (2013) en su estudio, emplea la biosorción de iones Cu (II) y Zn (II) a partir de soluciones acuosas por fibra de jacinto de agua, fue investigado en función de la concentración inicial de la solución, la concentración inicial de biomasa y la temperatura. Las soluciones que contienen iones de cobre y zinc se prepararon sintéticamente en un sólo componente y el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio de adsorción fue estudiado, asimismo, las condiciones óptimas de sorción para cada metal por separado. Los datos de equilibrio de adsorción se caracterizaron adecuadamente por Langmuir, Ecuaciones de Freundlich, Temkin y Dubinin-Radushkevich. Las isothermas de biosorción de equilibrio mostraron que el jacinto de agua posee una gran afinidad y capacidad de sorción para los iones Cu (II) y Zn (II), con capacidades de 99.42 mg Cu y 83.01 mg de Zn por 1 g de biomasa, respectivamente. Todos los resultados mostraron que en el agua la fibra de jacinto es un biosorbente alternativo de bajo costo para la eliminación de iones de metales pesados de medios acuosos.

Asimismo, Quiñones, Tejada, Arcia y Ruiz (2013), en su tesis determinaron los bioadsorbentes de biomásas residuales para la remoción del plomo, níquel, aplicando la cinética en los experimentos para su posterior evaluación, obteniendo así altos porcentajes de remoción. Se logró encontrar que se incluyen residuos de madera, cascaras de cítricos y frutos secos, residuos de cereales. Y como resultado obteniendo la remoción del plomo, con el bagazo de la caña de azúcar con un 333mg/g y para el metal níquel con la corteza de Acacia con una remoción de 294,1mg/g, estos han sido los bioadsorbentes con una eficacia mayor.

Del mismo modo, Gautam, Singh & Bhadauria (2013) realizaron un estudio empleando el hongo *Agaricus bisporus* (Champiñón Común) como biosorbente para evaluar su potencial para absorber iones de plomo (II) de una solución acuosa, y mejorar la capacidad de bioabsorción. El biosorbente se pretrató con NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃, lo cual otorgó una mejora significativa en la capacidad de bioabsorción, el equilibrio experimental los datos se ajustaron por isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich. Se determinaron los

parámetros para el biosorbente no tratado, el modelo Langmuir suministró los siguientes datos pH 2, 45°C, 100 rpm y 60 min de exposición, logrando una remoción de 34,60 mg/L a 0,08mg/L. El mejor modelo ajustado a los datos de equilibrio experimental para el tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) no tratado y biosorbente fue el modelo Langmuir, concluyendo que este tipo de biomasa, es efectiva para la remoción de metales pesado como el Pb.

En esta misma línea de ideas, Abideen, Sarafadeen, John, D. & Enitan (2013) aplicaron la biosorción y la bioacumulación de iones de plomo (Pb (II)) por *Trichoderma longibrachiatum*, para ello, consideraron un sistema discontinuo, así como los efectos de algunos parámetros importantes, como el pH, la concentración inicial de metales, la temperatura y la concentración de inóculo sobre la capacidad de biosorción. La capacidad máxima de biosorción de *Trichoderma longibrachiatum* fue de 25 ppm de plomo, mostró una eliminación del 100% a pH 7 y 25 °C después de quince días. El equilibrio de biosorción se estableció en 150 minutos. El proceso se ajustó bien al modelo cinético de pseudo segundo orden y fue explicado mejor por la isoterma de Langmuir. Determinando que este tipo de biomasa es efectiva en el tratado y remoción de metales pesados.

De igual modo, Sufyan, et al. (2014) realizaron un estudio diseñado para eliminar el plomo, el cobre y el zinc de las aguas residuales utilizando hojas de lechuga (*Lactuca sativa*) en tres formas (fresca, seca y en polvo) bajo algunos factores ambientales como el pH, la temperatura y el tiempo de contacto. Los datos evidenciaron que esta biomasa es capaz de eliminar iones de plomo, cobre y zinc a una capacidad significativa. Sin embargo, se encontró que algunos factores examinados tienen impactos significativos sobre la capacidad de biorremoción de los iones estudiados, donde la mejor capacidad de biosorción se encontró a pH 4, a una temperatura de 50 ° C y un tiempo de contacto de 1 hora.

En este marco de estudios, Pilco y Viera (2014) determinaron la eficacia de la Cianobacteria *Nostoc Spp.* para la remoción de metales presentes en el efluente Curtiembre ubicado en Ambato, la metodología empleada consistió en experimentar y realizar mediciones en laboratorios de las condiciones ambientales, las cuales fueron bajo control, para los cálculos respectivos, se implementó la estadística comparada, a los fines de identificar morfotipos. De

acuerdo con esto, determinaron que el metal reaccionó a la biomasa bajo las siguientes condiciones, pH2, 45°C, 100rpm, 120 min, logrando una remoción de 18,00mg/L a 4,07mg/ L, con una capacidad de 77% de remoción. Concluye que *Nostoc spp.*, es un biosorbente con alta capacidad de remoción de cromo, por consiguiente, puede ser potencialmente útil para descontaminar aguas residuales industriales que presenten otros metales.

Por su parte, Rajamohan (2014) desarrolló un estudio, bajo experimentos paramétricos por lotes para estudiar la aplicabilidad de los residuos de cascarones de pistacho protonados como un sorbente. Considero para ello, el efecto del pH de la solución, la concentración inicial de metal, la dosis del sorbente y la temperatura sobre la eficiencia de eliminación del metal. Se encontró que las condiciones óptimas para la eliminación de mercurio eran pH 7.0 y dosis de adsorbente - 1.0 g / L. La absorción de metal aumentó a la par de la concentración inicial del metal. El proceso de sorción se identificó como endotérmico en la naturaleza favoreciendo el uso de alta temperatura. Los estudios cinéticos revelaron que el modelo de pseudo-segundo orden se ajustaba bien y se determinaron las constantes. La constante de tasa de pseudo-segundo orden y la capacidad de absorción máxima se encontraron como $1.99 \times 10^{-3} \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ y 48.78 mg g^{-1} con 50 mg L^{-1} concentración de metal Thermo se llevaron a cabo estudios dinámicos y la energía de activación para la adsorción de mercurio, determinando así, su alta capacidad de remoción.

En paralelo, Huan-Ping, Chung-Cheng y Aileen (2014) utilizaron la cáscara de Citrus máxima, de maracuyá y el bagazo de caña de azúcar, para la producción de biosorbentes y poder utilizarlos en la eliminación de iones metálicos de cobre, níquel y plomo. Las propiedades biosorbentes, se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido, análisis de potencial zeta, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier y capacidad de intercambio catiónico. Los resultados indicaron que los biosorbentes poseen grupos de ácido carboxílico, que funcionan como sitios de catión y complejación intercambiables para eliminar metales pesados, en el caso de la cáscara de citrus máxima es óptima en pH3, temperatura 45°C, 150rpm, y en 80min de exposición, logrando una disminución de la concentración del Cr de 10,00mg/L a 5,04mg/L, es

decir, 50%. En conclusión, los biosorbentes tienen una gran capacidad de adsorción.

En el caso de Albis, Cajar y Domínguez (2015) realizaron un estudio sobre la absorción del cromo (VI) en solución acuosa 20 mg/L, para ello se empleó la cáscara de yuca amarga, Se realizaron distintas pruebas de experimento por la cual se pudo determinar el Cr (VI) adsorbida por el material lignocelulósico en tiempos definidos. Se procedió a realizar un estudio cinético para entender el proceso de adsorción y la velocidad, el modelo más efectivo fue el modelo cinético de pseudo segundo orden, la efectividad de adsorción se logró en pH1, 65°C, 160rpm, y en una exposición de 60min, logrando una concentración final de 0,55mg/L.

En este mismo orden de ideas, Dávila, Mendoza, Mendoza, Patiño, Pinzón, Gil y Rondón (2015) presentan su estudio denominado “Biosorción de metales pesados” el estudio se centró en elaborar y caracterizar químicamente una biomasa con base frutal alta en contenido de vitamina C (limón, mandarina, naranja, entre otros), con la finalidad de descontaminar el agua que presenta altos niveles de metales pesados tales como el Cromo (VI). Para ello, se preparó una solución de cromo (VI) partiendo de $K_2Cr_2O_7$ (Dicromato de potasio), en una concentración de 50ppm, y pH óptimo de 1, para determinar su efectividad se realizaron pruebas a diversas temperaturas (25°C, 40°C y 60°C), dando como resultado que las biomasas a temperaturas inferiores a 40°C tienen una capacidad de remoción inferior al 20% e igual o superior a 60% logran un 10%, determinando como temperatura óptima 60°C. El estudio concluyó que los desechos de frutas (cáscaras) son efectivas en la remoción del Cromo.

En esta misma línea de investigaciones, Kiorva, Velkova, Stoycheva, Hristova, et al (2015) desarrollan un estudio enfocado en la biosorción de iones Pb (II) de una solución modelo, se investigó utilizando la biomasa de *Streptomyces Fradiae* como biosorbente pretratado con hidróxido de sodio, esta biomasa es un producto de desecho de la producción biotecnológica del macrólido, usado como antibiótico tilosina en la industria farmacéutica. El procedimiento parte de un sistema por lotes con respecto a pH inicial, concentración inicial de metal y tiempo de contacto. Para una descripción del equilibrio de biosorción, Langmuir y Se utilizaron modelos de adsorción de

Freundlich. Los datos de equilibrio se ajustaron mejor al modelo de Langmuir y al cálculo la capacidad máxima de biosorción fue de 138.88 mg., pH 5.0, tiempo de contacto de 120 min. Los resultados indicaron que el proceso de absorción de Pb (II) es eficiente, se determinó que la concentración más alta de Pb (II) (200 mg) causaron una disminución entre 27.22% y 24.88% de este metal, respectivamente. Los resultados obtenidos son útiles en aplicaciones prospectivas de esta biomasa como biosorbente alternativo para la eliminación de Pb (II) de soluciones acuosas.

Adicionalmente, Penedo, Manals, Vendrell y Salas (2015) realizan un trabajo de investigación en el cual hacen alusión a la efectividad del carbón activado derivado de la corteza de coco, mediante la cual se pueden extraer algunos metales como el níquel, cobalto en diferentes consideraciones en el experimento. Se consideraron principalmente los efectos de concentración inicial de la solución, el pH y la dosis que se aplicara para la bioadsorción. Para la adsorción del Co se ajustó mejor al modelo de Freundlich, fue una adsorción favorable, con la capacidad máxima de 15,86 de 17,60 mg/L a pH 3, 30°C, 100rpm, y 30 min, determinando que el cascarón de coco es una biomasa efectiva para mitigar la contaminación por metales pesados.

En otro ámbito, Vizcaíno y Fuentes (2015) estudiaron la toxicidad del cadmio, plomo y zinc, emplearon para ello, la cáscara de naranja, algas rojas y tuna guajira como biomásas. Realizaron ensayos tipo batch, donde se usó solución de sodio y calcio, se obtuvo una recuperación mayor de la cascara de naranja y algas con NaOH 0.1 N y la tuna con NaOH y CaCl₂ 0.2 M. Como resultado se obtuvo un promedio de 99%, en cadmio y plomo, en el metal zinc se removió un 56%. Se recomienda calcinar a 700 C el material final, lo cual se obtiene cenizas estables frente a soluciones acidas, esto garantiza la captura de los metales recuperados.

Asimismo, Ramírez y Enríquez (2015) realizaron un estudio en donde se pudo evaluar la adsorción del plomo, utilizando vástago de plátano, cuya capacidad de remoción se ubicó en un 82%, se prepararon soluciones de plomo 0.6, 0.8 y 1.0 mm, para observar la capacidad de adsorción de la lignina. Concluyendo así, que la concentración final de plomo por medio de

espectroscopia de absorción atómica, pudo remover hasta un 95%, bajo las siguientes condiciones pH 1,60°C, 150rpr, y 60min de exposición.

Igualmente, Bonsad y Nandkar (2016) consideraron el papel del alga *Spirogyra verrucosa* en la extracción de manganeso (Mn) mediante el proceso de biosorción del agua de las minas de manganeso del distrito de Nagpur, región de Vidarbha, Maharashtra. Para ello, analizó las propiedades de la biomasa como pH, temperatura, cantidad de biosorbente, tiempo de contacto y concentraciones (inicial y final). Los valores optimizados obtenidos con respecto a estos parámetros indican claramente que pH 5, temperatura 30 ° C, cantidad de biosorbente 1.0 gm / l, tiempo de contacto 120 min. y la concentración inicial de iones metálicos 50 mg / l y final 40,66 mg/l fueron los requisitos básicos para la biosorción de iones Mn (II) por la biomasa de algas muertas. Además, el modelo de cinética e isoterma de biosorción aplicado a los datos de equilibrio para la biosorción de iones Mn (II) en algas revela la idoneidad de la expresión de velocidad de pseudo-segundo orden ($R^2 = 0.994$), así como la idoneidad de Langmuir ($R^2 = 0.859$) y modelos de isotermas de Freundlich ($R^2 = 0.761$) con una indicación de la aplicabilidad óptima para esta biomasa. El estudio concluye su eficacia en la remoción de metales pesados.

Del mismo modo, Espinoza, y Marshall (2016) observaron el proceso de biosorción del Pb y Mg, usando frutos cítricos, se trituraron y deshidrataron poniéndolas en contacto con unas soluciones acuosas contaminadas con estos metales durante el tiempo de 48 h. y a 20 ppm. Se trabajó en dos fases, la primera con los frutos molidos con una regulación del pH en 4-6 (HCL 0.1M), la segunda fase fue con cáscaras de limón y toronja reticuladas con solución de CaCl_2 0,2 M reguladas a pH 5 (HCL 0.1M); en los resultados fueron más óptimos. Para la cáscara de toronja fueron los siguientes resultados, 73.00% de biosorción de arsénico y 98.80% de mercurio. Con respecto a las cáscaras de limón fue un 96.08% de plomo y 98.58% de mercurio.

En el marco de estudios, Mihăiescu, Stănilă, Odagiu & Mihăiescu (2016) en su estudio consideraron la Adsorción de iones Cu (II) y Pb (II) a través de un biosorbente no convencional (levadura de cerveza), un subproducto residual de la industria cervecera, objeto de estudio. En la investigación se estudiaron los iones de cobre y plomo, teniendo en cuenta su presencia ubicua en varios tipos de

aguas. Para determinar la capacidad de adsorción. Los resultados demuestran que la capacidad de adsorción de levadura aumenta con la levadura-metal y el tiempo de contacto de la solución, sin embargo, parece que la adsorción se debilita después de 60 minutos, lo que demuestra que los sistemas alcanzan equilibrio. Se determinó que el pH de las soluciones es uno de los factores importantes en la biosorción. El aumento de la concentración de levadura también afecta la capacidad de adsorción de iones metálicos (duplicar la concentración de levadura provoca una disminución de valores). Los resultados óptimos se obtuvieron para la concentración de biosorbente de 0.5% y tiempo de contacto de 60 min., Cobre a pH 6 y plomo a pH 5 respectivamente, logrando un 95% de efectividad.

De acuerdo con lo expuesto, Singh y Shukla (2016) investigan sobre “Adsorptive removal of cobalt ions on raw and alkali-treated” donde emplearon distintas concentraciones de cáscaras de limón crudas y tratadas con NaOH en la absorción de Co (II) con solución acuosa de nitrato de cobalto, se caracterizaron por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, microscopía electrónica de barrido, espectroscopía de rayos X con dispersión energética, análisis termogravimétrico y análisis de área superficial Brunauer – Emmett – Teller. La adsorción máxima se observó a pH 6. La adsorción de equilibrio en las cáscaras de limón crudas y tratadas con NaOH se logró en 150 y 210 min, siendo la capacidad de adsorción máxima de 20,83 y 35,71 mg / g, respectivamente. Se comprobó que la desorción era superior al 96% usando HCl 0,1 N, y el adsorbente podía reutilizarse tres veces con una etapa de regeneración alcalina intermedia. Por lo tanto, las cáscaras de limón tratadas con NaOH han demostrado el potencial como un buen biosorbente en el tratamiento de los recursos hídricos industriales.

Por su parte, Tayyaba, Muhammad, Iftikhar et al. (2016) en su estudio aislaron 10 cepas bacterianas de muestras de agua de una industria azucarera, ubicada en Peshawar, Pakistán. Se observaron características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de estos aislamientos. El análisis de secuencia (ARN ribosómico 16S) reveló que las cepas aisladas estaban estrechamente relacionadas con las especies pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* (*Arthrobacter*, *Exiguobacterium*, *Citrobacter* y *Enterobacte*). Los aislamientos

bacterianos eran resistentes con una concentración inhibitoria mínima (500-900 ppm) al ion plomo Pb), (500-600 ppm) ion de níquel (Ni²⁺), (500-800 ppm) ion de cobre (Cu), y (600-800 ppm) ion de cromo (Cr) en medios acuosos. El estudio demostró que la biosorción de metales mediante cepas aisladas resistentes a metales es efectivo, reduciendo en un 37% (Pb), 32% (Ni), 29% (Cu) y 32% (Cr). El estudio concluye que las *Pseudomonas*, pueden proporcionar una nueva comunidad microbiana que se pueda usar para mejorar la remediación del ambiente contaminado.

De la misma manera, Tejada, Herrera y Núñez (2016) realizaron una investigación en la Universidad de Colombia, el estudio estuvo centrado en estudiar la adsorción como proceso para la remoción de metales pesado como el plomo en aguas residuales industriales, mediante la implementación de biomasa residual, para tal fin, contrastaron las biomasas utilizadas alternando la dimensión del átomo y el pH, a fin de definir las circunstancias óptimas de adsorción, para ello emplearon el Modelo de Isoterma propuesto por Freundlich. El resultado que mostraron las partículas, cuyas dimensiones oscilan entre 0.5 mm para el zuro de maíz y 1mm para la cáscara de naranja fue una capacidad óptima de absorción en pH 2, considerando un valor de remoción entre 93.10% y 67.50N%, concluyendo que ambas biomasas son eficaces en la remoción de metales pesados como el plomo (Pb).

Al respecto, Vera, Uguña, y García, et al. (2016) en su investigación utilizaron la mazorca de maíz y el mesocarpio del coco para la caracterización del bagazo de la caña de azúcar, residuos que se aprovechan para la recuperación de metales. Para la determinación usaron diversas técnicas físico químicas de los biosorbentes como el método de BOEHM y el espectrofotómetro Infrarrojo. Entre los resultados se mostraron que “el punto de carga cero para el bagazo fue de 6,11, para la mazorca 3,87 y para el coco 4,79. Se corroboró por el método de titulación el punto de carga cero”.

Otro aporte, lo realiza Bangaraia y Babu (2017) en su trabajo de investigación utilizaron el Tamarindo *Indica* como biomaterial de bajo costo para la eliminación de plomo. Bajo la evaluación de varios parámetros como el tiempo, la dosis y la concentración inicial y los estudios cinéticos, determinaron su efectividad. La eliminación máxima de plomo fue del 95,1%. El tiempo de

agitación óptimo es de 35 minutos y la dosis óptima es de 1 g. La eliminación máxima de plomo, se produjo a una concentración inicial de 20 mg / l. Los datos adecuados tanto para Freundlich como para Langmuir isothermas de adsorción. Estos datos se ajustan bien al modelo de Langmuir, con un coeficiente de correlación de 0,98. Los datos cinéticos son mejores ajustado al modelo de pseudo segundo orden. El estudio concluye que el Tamarindus Indica es una biomasa eficiente en la mitigación de la polución por metales pesados.

Bajo esta perspectiva, Maza, Sánchez y Carmona (2017) llevaron a cabo un estudio centrado en el río Amarillo del Cantón Portovelo, provincia de El Oro, en Ecuador, en el cual se descargan residuos mineros, en mayor concentración el arsénico. Para cumplir con el objetivo de la investigación, se tomó una muestra de cáscara de banano, coco, y arroz que oscilan entre 50 y 100grs, cada biomasa fue mezclada en 500cc de agua muestreada, y para el tratamiento de 99gr de mezcla de biomasa seca de cáscaras de banano, arroz, coco, con una muestra de agua fue de 1000cc. Los resultados de adsorción del metal pesado Arsénico (As), fueron de alto impacto, bajo los tres tipos de biomosas aplicados.

En la misma línea de estudios, Ordoñez (2017) se enfocó en la “Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la industria de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminadas” el presente estudio se centró, en la remoción del plomo y el cromo, para ello tomo una muestra de 0.1 gramos de biosorbente variados, un tamaño de 0.3mm de partícula y un pH de 1 para ambos metales. Para los cálculos se emplearon los modelos isotérmicos de Langmuir y Freundlich, estos permitieron obtener una tasa de remoción superior al 79%, el estudio concluye que existe una variación en los resultados que dependen de la concentración y el tiempo de remoción.

Así mismo, Rodríguez, Pacheco, Cárdenas, Tovar et al. (2017) investigaron sobre la “Bioadsorción de Cromo (vi) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*amaranthus caudatus*)” en este estudio se analizó la capacidad de remoción que tiene la biomasa de amaranta, a través del método de difenilcarbazida, mediante el cual se obtuvo la mayor bioadsorción (100% con 100 mg/L del metal) a las 4 horas, pH de 1.0, 60°C y 10 g de biomasa. En lo concerniente a la temperatura, en 60°C se obtuvo una óptima remoción de 63% a

los 25 minutos. Asimismo, A las concentraciones de Cromo (VI) analizadas, la biomasa natural mostró una excelente capacidad de remoción, remueve el metal in situ (72% y 63% de remoción en tierra y agua contaminadas, a 7 días de incubación con 25g de biomasa). Los resultados muestran que el biosorbente utilizado remueve Cr (VI), de aguas residuales industriales, satisfactoriamente.

En este caso, Tejada, et al. (2018) estudió la “Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre Husk yam y Bagasse de palma en sistema continuo” este estudio se enfoca en la eliminación de metales pesados que contaminan los cuerpos de agua, es por ello, que busca evaluar la capacidad de adsorción del plomo y níquel, usando bagazo de palma y conchas de ñame, modificándolos en un proceso químico con ácido cítrico 0,6M. Asimismo, se prepararon soluciones a 100 ppm de Ni (II) y Pb (II), logrando capacidades de adsorción de 92,58 mg / gy 98,04 mg / g, siendo el modelo de Thomas el que mejor ajustó los datos para la adsorción de Ni (II) utilizando ambos biomateriales. En la etapa de calcinación de la biomasa, los metales permanecieron en la ceniza y alrededor del 1% de ellos fueron liberados por desorción.

Bajo la misma línea de investigación, se ubica Saman y Gurav (2018) en su estudio, se implementó desecho de escamas de pescado, considerando que los desechos biológicos de bajo costo ofrecen el potencial para la eliminación de iones metálicos por biosorción. En este trabajo, el potencial de las escamas de pescado como biosorbente adecuado para la eliminación de iones Cu, Mn, Zn y Fe a partir de soluciones acuosas se investigó por varios parámetros, y la influencia de estos en la adsorción, entre ellos destacan el pH, cantidad de adsorbato, tiempo de contacto. Se observó que, a un valor particular, cada parámetro variable exhibió el mejor resultado de adsorción de Cu, Mn, Zn y Fe en escamas de pescado. Además de esto, también se determinaron los parámetros tales como recuperación % de adsorción. Se concluye que la escala de residuos de pescado es un método rentable, sensible y fácil.

Saleh, Refaey y Mahmoud (2016) el objetivo de este estudio fue comparar el biochar de cáscara de semilla de girasol (SSHB) y el carbón activado (AC) y la materia prima de la cáscara de semilla de girasol (SSHF) en su eficiencia de eliminación de Cu de las soluciones acuosas. En el estudio, el Cu eliminado se controló durante varios intervalos extendidos a 96 h a 298, 303 y 308 K en

experimentos discontinuos. Las reacciones de adsorción mostraron que SSHB fue superior en el proceso de eliminación de Cu, a todas las temperaturas probadas en comparación con AC y SSHF. Los resultados de las propiedades superficiales y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier confirmaron la mayor reactividad superficial de SSHB que AC y SSHF. Los resultados obtenidos indican que SSHB es un biosorbente recalcitrante y fuerte. Por lo tanto, SSHB se puede introducir como un biosorbente rentable y eficiente para la eliminación de cobre de las aguas residuales.

Por su parte, Fernández, Calzado, Cascaret y Pérez (2018) en su trabajo titulado “Factores de mayor influencia en la adsorción de metales pesados por biomasa seca de *Kluyveromyces Marxianus* CCEBI 2011”. Se utilizó la biomasa, para la recuperación del cobre, zinc y manganeso que se encontraban en la laguna Azul del Cobre, se usaron 0,25 g.L⁻¹ de la masa, los metales y distintos tiempos de contactos 15, 30, 45,60 y 90 min. Concluyendo que el de mejor resultado fue de 6,2. Siendo así que esta biomasa fue capaz de recuperar hasta un 51,8; 52,1 y 13,6 % el cobre (II), zinc (II) y manganeso (II), que se encuentran en las aguas de la laguna.

Sobre la base de estudios anteriores, Tamay (2019) se enfocó en la “Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (*Ananas Comosus*) para la remoción de metales pesados como el Níquel y el plomo presentes en el agua”. Para los fines de la investigación procedió a la caracterización del biosorbente mediante intercambio catiónico de 80, 071 meq/g y el potencial Z poniendo en evidencia la atracción de cargas, posteriormente, a través del sistema batch se determina que el pH óptimo es 4.32 para el plomo y 2,10 para el Níquel, esto empleando la cinética del pseudo de segundo orden, óptima para este proceso, así como los modelos de Langmuir y Freundlich, una vez realizado el proceso de desorción, el estudio concluye que el porcentaje de remoción es superior al 50%, siendo la *Ananas* una biomasa efectiva para la remoción de ambos metales pesados en aguas.

Otro estudio relevante, lo realiza Vargas (2019), el presente estudio evaluó la capacidad de las cáscaras alteradas con ácido cítrico, y otras sin modificar en un lapso de 250 minutos, con un mismo tamaño de partícula de 0.450mm. El porcentaje de remoción en las cáscaras de mandarina modificada y sin modificar

fueron del 71.92% y 69.58% respectivamente. Uno de los factores más importantes que afectó la adsorción es el pH. En este estudio se llegó a determinar que el pH adecuado para la adsorción es de 4 a 5 unidades, empleando 0.5 g de adsorbente/L de la disolución. Finalmente, se infiere que la cáscara de mandarina en general es un buen material bioadsorbente para la eliminación de iones de Hg^{+2} en disoluciones acuosas, comparada con otros biomateriales.

Finalmente, Abraham y Foster (2020) implementaron la hoja de nuez de cola (desecho agrícola) como biosorbente para la adsorción de Cd y Cr de soluciones acuosas, estas se modificaron usando HCl 0,1 M, este procedimiento mostró levemente mayor porcentaje de sorción que las hojas no modificadas, tanto para metales pesados con mayor tiempo de contacto, que tienen mayor afinidad para Cd, asimismo, se obtuvieron datos de sorción de equilibrio utilizando la técnica de lote con un pH aumentado (5) y un adsorbente aumentado dosis (1 g / 25 cm³ de adsorbato) y concentración inicial de metal. El grupo funcional de hojas de nuez de cola antes y después de la adsorción se determinó usando la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los datos cinéticos se ajustaron mejor a un pseudo-segundo orden modelo. El estudio demostró que las hojas de nuez de cola son un biosorbente prometedor para Cd y Cr que podrían utilizarse para uso industrial remediación de aguas residuales, así como para disminuir la contaminación en cuerpos de agua natural.

Con base en los estudios precedentes, es menester desarrollar un marco teórico que permita comprender algunos conceptos y teorías que son base para el estudio en curso, partiendo como base del significado de biomasa, entendida como “La porción biodegradable de productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), silvicultura y de industrias conexas, (pesca y la acuicultura), incluyendo residuos industriales y municipales” (De Lucas y Del Peso, 2012, p. 4)

Considerando la exposición anterior, las biomásas tienen diversas clasificaciones y orígenes, en el caso de la biomasa residual, caso que ocupa a la presente investigación, corresponde a la fracción biodegradable proveniente de los restos generados por las actividades de desarrollo humano, qué de acuerdo a su origen, se clasifican en secos, húmedos, sólidos y líquidos (Centro Tecnológico

Agrario y Alimentario, 2012). Algunas de sus presentaciones se derivan de las actividades agrícolas, forestales y de jardinería, entre estos destacan las pajas de cereales, zuros de maíz, excedentes agrícolas, los originados en los tratamientos selvícolas, entre otros.

Asimismo, se ubican los residuos que provienen de industrias agrícolas y forestales, cuyo origen procede de la producción de aceite, orujo de oliva, industria vinícola y alcoholera, producción de frutos secos, recortes de madera, serrín, entre otros. De igual manera, entran en esta clasificación los residuos sólidos urbanos (RSU) y aguas residuales urbanas (ARU), así como los residuos ganaderos, principalmente purines o restos de vegetales, animales, excremento, cosecha, semillas, entre otros. Aunado, los residuos agroindustriales, derivados de las industrias lácteas, papeleras, destilerías, almazaras, conserveras y por último se tienen los aceites alimentarios usados.

En virtud de lo expuesto, las biomásas residuales tienen características que son de provecho para la mitigación de la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua diversos, comprobados a través de experimentos en laboratorios, estableciendo como sus propiedades energéticas la composición química, la humedad relativa, el porcentaje de cenizas y densidad aparente. La primera está formada de una unidad orgánica, inorgánica y agua, que al exponerse a procesos de combustión la parte orgánica se quema, la inorgánica tiene una incidencia sobre esta, formando un residuo sólido (ceniza) (Fernández, 2010).

La segunda, comprendida como la humedad relativa, es la correspondencia entre la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Se mide en base seca (h) o base húmeda (H), según corresponda. En este caso, entre menor sea el resultado obtenido, mejor será el valor calorífico de la biomasa y su proceso de combustión.

La tercera es el porcentaje en Cenizas, que se refiere a la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de materia prima. Conviene que su porcentaje en relación a la materia seca sea el menor posible, ya que determina los niveles de energía y por ende de adsorción. Adicionalmente, como la cuarta, se agrega la densidad aparente, que corresponde al peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presente.

En efecto, así como las biomasas tienen propiedades energéticas, también se adicionan las físico-químicas, a las cuales están sometidas y pueden alterar u optimizar su capacidad de concentración y remoción de metales pesados, entre estos se ubica la temperatura, un aumento de esta puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción (Tejada, Villabona y Garcés, 2012).

Igualmente, se presenta el efecto del pH, su valor en la fase acuosa es el elemento más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4 (Garcés y Romero, 2008).

Además, incide el tamaño de la partícula, ya que, el proceso de adsorción tiene presencia en la parte interna de las partículas, específicamente, sobre las paredes de los poros. La cantidad de soluto que puede adsorber es proporcional al volumen, y este es directamente proporcional al área externa, es por ello, que una partícula pequeña puede tener mayor área superficial interna por la cantidad de poros más que por la unidad de masa. Aunado a este proceso, se suma la presencia de otros iones que Según Tejada et al. (Ibid.) hacen que puedan competir con el metal en el interés de las zonas de sorción, esto quiere decir, que todos los elementos expuestos, pueden afectar directamente en el proceso de adsorción de metales pesados, conduciendo a la biomasa a competir con el metal que desea mitigar, ya que los metales también tienen sus propiedades físico-químicas.

Dentro de este orden de ideas, la mitigación de la polución de cuerpos naturales de agua por metales pesados, depende en gran medida no sólo de las propiedades de las biomasas, sino de los mecanismos usados para la adsorción, ya que son los que permiten captar y remover la toxicidad de los metales, entre esto se ubica la biosorción, la cual consiste en la captación de contaminantes, desde una solución acuosa por un material biológico a través de mecanismos fisicoquímicos o metabólicos. En el caso de los metales pesados, que pueden tener un efecto letal hacia la biomasa viva, ésta tiene la capacidad de activar mecanismos para contrarrestar dichos efectos tóxicos (Cañizares, 2000, p.133).

Dentro de los más empleados, se localiza la bioacumulación, que consiste en acumulación de sustancias químicas propias de los organismos vivos, que alcanzan elevadas concentraciones en su medio o en los alimentos (Reyes, Cerino y Suárez, 2006).

Dentro de los mecanismos más recientes, se localiza la bioadsorción la cual consiste en la adsorción de iones en la superficie de la célula, proceso físico químico que ocurre en forma natural en ciertas biomasas, fenómeno que se puede producir por intercambio iónico, precipitación, complejación, o atracción electrostática, y le permite concentrar de forma pasiva los contaminantes en su estructura celular (Reyes, Cerino y Suárez, 2006).

A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de la bioadsorción y bioacumulación como los dos mecanismos con mayor uso y efectividad en la remoción de metales pesados (Tabla 1).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones

Bioadsorción	Bioacumulación
Proceso pasivo	Proceso activo
Biomasa sin vida	Biomasa con vida
Metales unidos a la superficie de la pared celular.	Metales unidos a la superficie de la pared celular y acumulados en el interior de la célula
Proceso reversible	Proceso parcialmente reversible
No requiere nutrientes	Requiere nutrientes
Rápido	Lento
No es controlado por el metabolismo	Controlado por el metabolismo
No se ve afectado por el efecto tóxico de los contaminantes	Se ve afectado por el efecto tóxico de los contaminantes
No hay crecimiento celular	Implica crecimiento celular
Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes	Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes
Posibilidad de recuperación y reúso de los contaminantes mediante un proceso de desorción.	Los metales no pueden recuperarse
La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción	La biomasa no puede recuperarse

Fuente: Plaza, 2012 "Remoción de metales pesados empleando algas marinas"

En este desarrollo teórico, se vienen mencionando los metales pesados, para comprender su posición ambiental, es preciso conocer que son sustancias propias de la naturaleza, de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles (Eróstegui, 2009, p.45). Entre ellos se localiza, el plomo, cadmio, cobalto, zinc, cromo, níquel, mercurio, cobre, entre otros, que son de uso amplio en las diferentes industrias.

Al respecto, Caviedes, Muñoz, Perdomo, et al. (2015), indican que los metales pesados, se encuentran en los ecosistemas acuáticos en concentraciones disminuidas, a estos se les denomina elementos traza. Algunos metales son necesarios para animales y vegetales micronutrientes (como Mn (Manganeso), Mo (Molibdeno), Cu (Cobre), Co (Cobalto), Zn (Zinc), Sc (Escandio) y V (Vanadio)) por el contrario estos (como el Ni (Níquel), Sn (Estaño) y Cr (Cromo)) son necesarios para la vida de los animales, pero cuando se encuentran en concentraciones muy altas en los sistemas ambientales, pueden ser muy tóxicos para la vida biótica (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Toxicología de los metales pesados

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE MÁXIMO
Arsénico (As)	mg/L	0,010
Cadmio (Cd)	mg/L	0,003
Cobalto (Co)	mg/L	0,02
Cobre (Cu)	mg/L	2,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,05
Magnesio (Mg)	mg/L	0,15
Manganeso (Mn)	mg/L	0,05
Mercurio (hg)	mg/L	0,0010
Níquel (Ni)	mg/L	0,020
Plomo (Pb)	mg/L	0,010
Zinc (Zn)	mg/L	0,10

Fuente: OMS y Norma Oficial Mexicana, 2007. PROY-127-SSA1-250-2007

Tabla 3. Fuentes de contaminación y efectos de metales pesados recurrentes.

Meta	Fuentes de contaminación	Efecto sobre la salud
I		
Cd	Plantas electrónicas, las fundiciones, fabricación de aleaciones, pigmentos, plásticos, pilas y procesos de refinación.	Irritación grave del estómago, lo que produce vómitos y diarrea, daño en los riñones, en ciertas ocasiones la muerte.
Zn	Industrias galvanizado, y la fabricación de acero y otras aleaciones, baterías y pigmentos	La ingestión de niveles altos de zinc durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas, calambres estomacales, náusea y vómitos y disminución del tipo de colesterol beneficios
Cr	Galvanoplastia, la fabricación de colorantes y pigmentos, la producción de aceros y aleaciones, así como conservantes de la madera	Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, e incluso la muerte
Ni	Fabricación de acero, en baterías y en la producción de algunas aleaciones	Dolores de estómago y efectos adversos en la sangre, los riñones, o bronquitis crónica y alteraciones del pulmón
Hg	Minería, Producción de cloro soda caustica, policloruro de vinilo, espuma de poliuretano	Daño en los riñones, ataxia, temblores, daños neurosensoriales y cognitivos

Fuente: Tejada, Villabona y Garcés, 2012.

Considerando la toxicología, los efectos contaminantes y sobre la salud que han tenido los metales en diversos contextos, es preciso indicar que esto se debe a su naturaleza, de 106 elementos, 84 son metales, razón por la cual, la probabilidad que se dé una contaminación ambiental es múltiple. Aunque los metales como materia natural han sido de gran provecho a lo largo de las civilizaciones, en la actualidad el desarrollo de actividades domésticas, el

crecimiento poblacional, y la industrialización la han agravado, causando graves problemas a la salud del hombre, debido a la demanda desmedida de estos metales, haciendo que en muchas ocasiones aumente su concentración a través de la polución en cuerpos naturales de agua, plantas, y animales, que ocasionan intoxicación, la cual puede devenir a su vez en la muerte.

Al respecto, Línea Verde (2020, p.1) indica que se ha demostrado científicamente que, “además de causar algunos de los problemas ambientales más graves, la exposición a metales pesados en determinadas circunstancias es la causa de la degradación y muerte de vegetación, ríos, animales e, incluso, de daños directos en el hombre”.

Lo antes expuesto, ha forzado la creación de instituciones, organismos públicos y privados, así como leyes que regulan los procesos ambientales, entre ellos el que mayor predominio tiene es la polución de cuerpos naturales de agua, sobre todo por presencia de metales pesados en niveles tóxicos, que a raíz de la explotación minera y de hidrocarburos como las actividades que tienen mayor impacto ambiental, se ha incrementado, es por ello, que en aras de reducir el impacto sobre la salud pública, se vienen desarrollando con mayor ahínco, estudios biotecnológicos, asequibles a la economía y de fácil implementación, que tienen como base el uso de biomásas, las cuales permiten a través de procesos fisicoquímicos no sólo la mitigación de la polución causada por metales pesados, sino de otros organismos contaminantes presentes en los efluentes industriales.

Generalmente, estos métodos implican aplicar un proceso al recurso y transcurrir el metal de su fase líquida (inicial), a una fase sólida para permitir la facilidad de su recuperación o en el estado de oxidación para pasar de un estado tóxico a uno menor (Algarra, 2015). Esta recuperación se realiza por medio de una masa viva a través de procesos físicos y químicos como la adsorción o el intercambio iónico. Estos procesos parten de un medio sólido y otro líquido que tienen las especies disueltas que van hacer recuperadas como los metales pesados.

Cabe destacar, que estos métodos fisicoquímicos como lo es el intercambio iónico, ósmosis inversa y adsorción, implican un alto costo, debido al impacto negativo de sus efectos, ya que por la concentración de metales diluidos en los efluentes industriales ocasionan precipitaciones químicas, que si bien

permiten la elisión de los metales pesados, generan lodos químicos, es decir, se sustituye un problema ambiental por otro.

En consecuencia, las investigaciones develaron nuevos mecanismos como el de biosorción, el cual se lleva a cabo cuando los cationes de los metales se conectan por interacciones electrostáticas a los sitios aniónicos que están en las biomásas. Estos que son centros activos para la biosorción, están ubicados en los grupos de los carboxilos, hidroxilos, aminos, sulfónicos, que conforman las estructuras de la mayoría de los polímeros y que son de origen natural, haciendo que este mecanismo no sólo sea eficaz sino de bajo costo (Cardona, Cabañas, Zepeda, et al., 2013).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo básica la cual “Está dirigida a un conocimiento más completo a través de la comprensión de los aspectos fundamentales de los fenómenos, de los hechos observables o de las relaciones que establecen los entes” (Ley del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica CONCYTEC, 2018, p.1)

Asimismo, Hurtado (2014) expresa que este tipo de investigación se distingue por que surge bajo la revisión de un marco teórico y se centra en él, su objetivo se centra en incrementar los conocimientos científicos fuera del marco práctica.

En este caso el estudio se basa en el análisis de los resultados derivados de la compilación de estudios previos sobre el uso de las biomásas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Diseño de Investigación

El estudio se centra en un diseño no experimental, ya que se realiza sin manipular las variables, se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos, "La investigación no experimental o ex-post-facto es cualquier investigación en la que resulta imposible manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones" (Kalinger 1979, citado por Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 15).

Adicionalmente, se apoya en un diseño documental que según Arias (2016) “Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos” (p. 27).

Asimismo, se realiza en un nivel descriptivo, ya que permiten medir, evaluar y recolectan datos sobre diversos aspectos, componentes y dimensiones, de fenómenos a investigar, cuya finalidad está en recopilar toda la información necesaria para la investigación. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.2 Variables

Variable Independiente: Biomosas residuales.

Definición Conceptual: Es la fracción biodegradable proveniente de los restos generados por las actividades de desarrollo humano. (Centro Tecnológico Agrario y Alimentario, 2012)

Variable Dependiente: Mitigación de la Polución por metales pesados.

Definición Conceptual: Consiste en la aplicación de un proceso al recurso y transcurrir el metal de su fase líquida (inicial), a una fase sólida para permitir la facilidad de su recuperación o en el estado de oxidación para pasar de un estado tóxico a uno menor (Algarra, 2015).

3.3 Población, muestra y muestreo

Población

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) “Es el resultado de la reunión de varios individuos u objetos que serán motivo de análisis, gracias a que evidencian alguna particularidad o carácter común y que se ha despertado el interés de un estudioso por analizarlos” (p. 89).

Desde esta concepción, la población es de tipo indeterminada, con una revisión de 54 trabajos los cuales fueron discriminados en función del uso de biomosas residuales.

Muestra

Según señalan Hernández, et al. (2015, p. 91) se denomina muestra a una porción que se toma del total de un grupo mayor llamado población, y que cuenta con una particularidad especial que ha despertado la curiosidad de un investigador quien lo someterá a un estudio.

Para el estudio se han seleccionado 40 trabajos de investigación científica relacionados con el uso de las biomásas residuales para la mitigación de polución por metales pesados en cuerpos de agua natural.

Criterios de Inclusión:

-Investigaciones sobre contaminación de cuerpos de agua por metales pesados a nivel nacional e internacional.

Criterios de Exclusión:

- Ubicarse en la cohorte enero 2013 a mayo 2020.
- Mitigar la polución de metales pesados a través de biomásas residuales.
- Detallar propiedades físicas-químicas en las que reaccionan las biomásas.
- Mencionar procedimientos o mecanismos para el trato de las biomásas.
- Destacar efectividad de las biomásas en la mitigación de la polución por metales pesados.

Muestreo

El muestreo será de tipo no probabilístico, por conveniencia, en donde la muestra se configura de acuerdo a criterios propios del investigador, ya sea económicos, temporales u otra razón (Arias, 2016). En este caso, la unidad o elemento de muestreo se autoselecciona o se ha seleccionado con base en su fácil disponibilidad.

Respecto a los puntos expuestos, la presente investigación se desarrolla en función del análisis teórico de fuentes confiables como revistas científicas y académicas, indexadas, especializadas y online (Pubmed, Dspace, Proquest, Bioline, Dialnet, Scielo, Redalyc) entre otras, libros y archivos de relevancia, considerados fuentes confiables y certificadas por instituciones ambientales.

3.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para recopilar la información de la investigación se empleó como técnica el análisis documental, que consiste en la extracción de nociones mediante un proceso intelectual para representarlo y facilitar el acceso original, mediante el empleo de palabras claves que sirven de referencia (Castillo, 2015).

Análogamente, se empleó como instrumento para analizar la información una ficha de investigación, a través de la cual se registraron los datos básicos de los trabajos que son relevantes y determinantes en la investigación en curso.

Validez y confiabilidad

Hernández, et al. (2015), señala que la validez y confiabilidad de un instrumento de recolección de datos, que hacen idónea estos instrumentos, el cual se utiliza para contabilizar equitativamente las particularidades de los entes que son objeto de estudio (p. 142).

En cuanto a la validez Hernández, et al. (2015) refiere que es la calidad de un instrumento para medir de manera específica y oportuna la característica para la cual ha sido diseñada y estructurada (p. 144).

La validez de la ficha de registro se realizó a través del juicio de expertos, los cuales serán docentes de la Universidad César Vallejo y cuentan con experiencia en el ámbito de la investigación científica y/o ingeniería ambiental. Para emitir su criterio de validez tomaron como criterios de evaluación a la coherencia, pertinencia y relevancia que presenta el instrumento de recolección de información.

Según Hernández, et al. (2015, pp. 144-145) el instrumento de medición es una herramienta que promueve resultados confiables y coherentes. En otras palabras, la aplicación repetida del instrumento a diversas personas u objetos originan resultados confiables. El nivel de confiabilidad de la ficha de registro concerniente a la investigación en curso, se conoció durante el desarrollo de las actividades que se cumplieron en su desarrollo.

3.5 Procedimientos

A fin de recabar información oportuna y certificada que aprueben su confiabilidad, se procedió a realizar:

1. Estrategia de búsqueda: se realizó un bosquejo inicial de trabajo, basándose principalmente en las investigaciones precursoras de Tejada, Tejada, Villabona, y Quiñones sobre el empleo de biotecnología para la mitigación de la polución ocasionada por los metales pesados en cuerpos de agua natural. Posteriormente, se realizó una revisión sistemática de estudios internacionales y nacionales mediante aplicación de escala Newcastle-Ottawa (NOS, 2019), lo que permitió seleccionar mediante criterios de representatividad, remoción, mecanismos, toxicidad, seguimiento y efectividad de las biomásas residuales, la relevancia de los estudios.

2. Localización de estudios: se implementó la búsqueda a través de base de datos tales como Google Scholar, Scielo, Semantic Scholar, Pubmed, Proquest, Boline, Dspace, EBSCO, LAJSE, Raco, Redaclyc, y Renati, así como revistas científicas indexadas de alto impacto internacional, mediante las cuales se introdujeron palabras claves como: biomásas, tipos, biomasa residual, propiedades energéticas, efectos físico-químicos, metales pesados, focos de producción y efectos sobre la salud, contaminación de cuerpos de agua natural, para los antecedentes en inglés se introdujeron los términos: Biosorption, Brewery Yeast, Heavy Metal, Adsorption Capacity, toxy metals, biosorbents, polluted water, biotic and abiotic factors, desorption. Asimismo, se revisó información de organismos e instituciones, tales como:

- ✓ Organismos/Instituciones
- ✓ Organización Mundial de la Salud (OMS)
- ✓ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- ✓ Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario
- ✓ Ministerio de Salud de Perú (MINSA)
- ✓ Instituto Nacional de Informática y Estadística (INEI)

3. Selección de estudios: Seguidamente, se identificaron trabajos de investigaciones actuales y pertinentes respecto a la temática, que demuestren no sólo su uso sino su efectividad. La selección de investigaciones estuvo integrada

por un total de 54 trabajos los cuales fueron discriminados en función del uso de biomasas residuales enfocadas en la mitigación de la contaminación del agua por metales pesados, reduciéndose a 40 estudios.

Para la discriminación de la información, se colocó un lapso de tiempo siendo de enero de 2013 a mayo de 2020, además de la información referida en los resúmenes sobre representatividad (relevancia), exposición a las propiedades físicas químicas; remoción, si en los estudios es propicia e indica los niveles, descripción de los mecanismos usados para la adsorción de metales pesados en cuerpos de agua, indicaciones sobre los niveles de toxicidad del agua; seguimiento, expresan niveles de concentración inicial y final, antes y después de la aplicación de las biomasas y la efectividad, indican porcentajes.

Paralelamente, de los antecedentes se pudo reunir información suficiente para estructurar las bases teóricas.

Tabla 4. Aplicación de Escala Newcastle-Ottawa

Estudios	Escala Newcastle-Ottawa Adaptada					Datos Específicos		
	Criterios de Selección			Resultados				
	Corte de Estudios	Representatividad	Exposición	Remoción	Mecanismo	Toxicidad	Seguimiento	Efectividad
Albis, Cajar y Domínguez (2015)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Abideen, et al. (2013)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cardona et al. (2013)	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI
Carmiña (2013)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Abraham & Foster (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Gastro (2015)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Bangaraiah & Babu (2017).	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Chacaltana (2018)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Bansod & Nandkar (2016)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Campos, et al. (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cascadet, et al (2014)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Ccencho (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Dávila et al. (2015)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Decker (2013)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Iliná, et al. (2016)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Del Carpio (2017)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Lozada (2019)	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Espinoza y Marshall (2016)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Fernández, et al. (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Gautam, et al. (2013)	SI							
Gutiérrez (2015)	SI							
Huan, Chung, y Nieva (2014)	SI							
Kiorva, et al. (2015)	SI							
Quiñones et al. (2013)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Lazarte, Nonato y Vallejos (2019)	SI							
Rios (2014)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Maza, et al. (2017)	SI							
Mihăiescu, et al. (2016)	SI							
Miranda (2017)	SI							
Ordoñez (2017)	SI							
Ortega (2016)	SI							
Penedo, et al. (2015)	SI							
Tejada, et al. (2014)	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Tejada, et al. (2014)	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Ticona (2018)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Pilco y Viera (2014)	SI							
Rajamohan (2014)	SI							
Villanueva (2017)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Rámirez y Enríquez (2015)	SI							
Yrigoin (2019)	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Rodríguez, et al. (2017)	SI							
Saleh, et al. (2018)	SI							
Saman & Gurav (2018)	SI							

Sandoval (2019)	SI							
Singh y Shukla (2016)	SI							
Sufyan, et al. (2014)	SI							
Tamay (2019)	SI							
Tayyaba, et al. (2016)	SI							
Pérez, et al. (2018)	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
Tejada et al. (2016)	SI							
Tejada, et al. (2018)	SI							
Vargas (2019)	SI							
Vera, et al. (2016)	SI							
Vizcaíno y Fuentes (2015)	SI							

Corte de estudios: corresponde al corte de estudios de enero 2013 a mayo 2020; **Representatividad:** manifiesta si la muestra representa a las biomazas residuales como medio para mitigar la polución en cuerpos de agua por metales pesados; **Exposición:** considera las propiedades físico-químicas de las biomazas residuales en la mitigación de metales pesados (pH, temperatura, rpm, tiempo); **Remoción:** indica los niveles de concentración inicial y final de los metales antes y después de la aplicación de las biomazas residuales; **Mecanismo:** considera los modelos usados para mitigar la polución por metales pesados (Bioacumulación, biosorción y bioadsorción); **Toxicidad:** describe los niveles de contaminación presentes en el agua; **Seguimiento:** evalúa la efectividad de las biomazas antes y después de su aplicación. **Efectividad:** detalla los porcentajes de efectividad de las biomazas usadas en la polución de metales pesados en cuerpos de agua.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Métodos de análisis de datos

Hernández, et al. (2015) el método de análisis de datos se entiende como una recopilación de distintas estrategias utilizadas en el estudio durante los procesos y su representación numérica, con el objetivo de obtener datos confiables y verdaderos. Este método emplea a la estadística con el fin de detallar los resultados que se obtengan por el procesamiento de los datos recolectados. Al ser éste un análisis con fines descriptivos – comparativos, la clase de estadística que se utilizó pertenece al método estadístico descriptivo e inferencial.

Estadística descriptiva

Se empleó con el propósito de realizar tablas de valores porcentajes sobre el nivel de recuperación de los metales pesados, a través de biomásas residuales. Este método estadístico detalló de manera cuantitativa los resultados obtenidos durante el procesamiento de los datos recolectados a través de la ficha de registro.

Estadística inferencial

Este método estadístico otorga la posibilidad de llevar a cabo la comprobación de las hipótesis de investigación a través de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, dado que la muestra de estudio es ≤ 50 . Los resultados de esta prueba permitieron determinar el nombre de la prueba estadística que se empleará en la comprobación de las hipótesis de investigación, es Rho de Spearman.

A fin de dar respuesta a lo antes expuesto, se procedió al cálculo de normalidad de los datos mediante prueba no paramétrica de Shapiro Wilk por tener una muestra menor de ≤ 50 .

Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TIPOBIOM	40	100,0%	0	0,0%	40	100,0%
NIVEFECT	40	100,0%	0	0,0%	40	100,0%

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TIPOBIOM	,148	40	,027	,921	40	,008
NIVEFECT	,414	40	,000	,645	40	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

A través de la prueba de normalidad Shapiro Wilk, se determinó que los datos tienen una distribución $p=0,000$, menor a $0,05$ indicando que los datos correspondientes a la variable mitigación no tienen una distribución normal.

3.7 Aspectos éticos

Los aspectos éticos de esta investigación se fundamentan en la Resolución de Consejo Universitario N°0126/2017 – UCV. Este documento contempla que, en el campo de las ingenierías se tiene el código de ética de IEEE, Advancing Technology for Humanity, ya que se parte de la premisa que las tecnologías afectan la calidad de vida de las personas y que por ello es necesario llegar a altos estándares de ética, considerando la responsabilidad en las decisiones, la honestidad, la competencia técnica, la justicia en el trato y la colaboración profesional. Desde este punto de vista la ética en esta investigación estará orientada a cumplir con:

(1) El código de honestidad: El investigador debe respetar los derechos de propiedad de otros investigadores, no plagio.

(2) Rigor científico, con una metodología establecida y los criterios, para una mejor evidencia científica en la investigación. Por ello los investigadores deben obtener los resultados después de un riguroso proceso e interpretación de datos.

(3) Una competencia profesional, se debe mantener un buen nivel de preparación y actualización profesional y científica, que evidencien un rigor científico durante todo el proceso de investigación.

(4) Se debe cumplir con los requisitos éticos, legales y de seguridad, respetando las condiciones establecidas en los proyectos.

IV. RESULTADOS

A fines de cumplir con los objetivos de la investigación se procedió al análisis de 40 muestras, correspondiente a 40 biomazas residuales, clasificadas en 7 grupos (Agrícola, algal, forestal, microbiana, pectinas, residuos industriales y sólidos urbanos), los cuales mitigaron la polución de once metales pesados (arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), magnesio (Mg), Manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y Zinc (Zn)), localizados en cuerpos naturales de agua.

Tabla 6. *Muestras de Biomazas Residuales implementadas en la mitigación de polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.*

BIOMASA	TIPO	PROPIEDADES				METAL	MEC.	CONCENTRACIÓN		EFEC
		pH	Temp °C	Enfr. rpm	Tiempo (min)			INICIAL (mg/L)	FINAL (Mg/L)	
Algas rojas	Algal	2	25	100	60	Cd	BIOADSORCIÓN	10,00	0,05	99
Amaranto	Agrícola	1	25	100	25	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	0,06	63
Bagasse de Caña de Azúcar	Residuos Industriales	2	18	100	60	Pb	BIOADSORCIÓN	10,00	6,11	45
Bagasse de Palma	Residuos Industriales	2	18	100	60	Ni	BIOADSORCIÓN	12,34	2,08	98
Borra de Café	Residuos Sólidos Urb	4	30	150	45	Cd	BIOADSORCIÓN	10,00	0,53	97
Cáscara de Arroz	Residuos Industriales	1	30	172	60	As	BIOADSORCIÓN	11,45	0,45	96
Cáscara de Citrus Máxima	Pectina	3	45	150	80	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	5,04	50
Cáscara de Coco	Agrícola	3	45	100	60	Co	BIOADSORCIÓN	17,60	15,86	98
Cáscara de Limón	Pectina	6	45	200	150	Co	BIOADSORCIÓN	35,71	20,83	96
Cáscara de Mandarina	Pectina	4	45	200	250	Hg	BIOADSORCIÓN	22,72	19,83	72
Cáscara de Maracuyá	Pectina	1	35	150	70	Zn	BIOADSORCIÓN	0,42	0,02	94
Cáscara de Naranja	Pectina	5	40	150	90	As	BIOSORCIÓN	20,00	6,78	68
Cáscara de Plátano	Residuos Sólidos Urb	6	45	150	60	As	BIOADSORCIÓN	0,1	0,08	80
Cáscara de Semilla de Girasol	Residuos Sólidos Urb	5	45	150	120	Cu	BIOSORCIÓN	25,00	16,50	76
Cáscara de Toronja	Pectina	4	60	170	30	Mg	BIOSORCIÓN	5,00	0,52	99
Cáscara de yuca amarga	Agrícola	1	65	160	60	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	0,55	94
Cascarón de Pistacho P.	Residuos Industriales	7	65	200	60	Hg	BIOSORCIÓN	50,00	48,70	98
Champiñon común	Residuos Industriales	2	45	100	55	Pb	BIOADSORCIÓN	34,60	0,08	100
Corona de Piña	Pectina	2	25	100	55	Ni	BIOACUMULACIÓN	0,50	0,18	64
Corteza de Acacia	Forestal	2	30	100	40	Ni	BIOSORCIÓN	333,00	294,10	70
Desechos de frutas Citricas	Pectina	1	45	100	40	Cr	BIOADSORCIÓN	20,00	15,00	75
Echerichia Coli	Microbiana	1	40	150	30	Cd	BIOSORCIÓN	0,60	0,13	78
Escala de pescado residual	Residuos Sólidos Urb	6	45	200	50	Cu	BIOSORCIÓN	35,00	25,7	74
Hojas de Eucalipto	Forestal	1	40	100	30	Cr	BIOSORCIÓN	0,62	0,24	61
Hojas de Lechuga	Residuos Sólidos Urb	4	45	150	60	Zn	BIOSORCIÓN	25,00	19,89	86
Hojas de Nuez de cola	Forestal	5	45	100	90	Cd	BIOSORCIÓN	25,00	0,08	90
Jacinto de Agua	Algal	2	65	150	80	Zn	BIOADSORCIÓN	100,00	83,01	83
Kluyveromyces Marxianus	Microbiana	6	50	100	60	Zn	BIOADSORCIÓN	10,00	4,85	52
Lenteja de Agua	Algal	8	45	100	60	Cu	BIOADSORCIÓN	10,00	4,04	60
Levadura de Cerveza	Microbiana	6	40	100	60	Cu	BIOSORCIÓN	0,50	0,01	95
Nostoc Spp	Microbiana	2	45	100	120	Cr	BIOSORCIÓN	18,00	4,07	77
Pseudomonas	Microbiana	7	60	650	60	Ni	BIOSORCIÓN	5,00	1,52	32
Residuos de papa	Residuos Industriales	1	45	150	30	Pb	BIOADSORCIÓN	25,00	5,37	79
Serratia Marcesces	Microbiana	5	45	150	30	Pb	BIOADSORCIÓN	22,00	0,48	97
Spirogyra Verrucosa	Algal	5	30	150	120	Mn	BIOSORCIÓN	50,00	40,66	91
Streptomyces Fradiae	Microbiana	5	45	150	120	Pb	BIOSORCIÓN	200,00	138,88	27
Tallo de Plátano (Lignina)	Agrícola	1	45	150	60	Cr	BIOADSORCIÓN	5,00	0,27	95
Tamarindo Indica	Agrícola	3	45	150	35	Pb	BIOSORCIÓN	15,00	0,5	95
Trichoderma Longibrachiatum	Microbiana	7	45	250	150	Pb	BIOACUMULACIÓN	15,00	15,00	100
Zuro de maíz	Residuos Industriales	2	28	100	75	Pb	BIOADSORCIÓN	0,50	0,12	93

Partiendo de esta información, se procedió a analizar las biomásas residuales empleadas en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua, así como su clasificación, para ello se determinó la frecuencia en las muestras de los estudios seleccionados:

Tabla 7. Biomásas Residuales usadas en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Estadísticos

TIPOBIOM

N	Válido	40
	Perdidos	0

TIPOBIOM

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido AGRÍCOLA	5	12,5	12,5	12,5
ALGAL	4	10,0	10,0	22,5
FORESTAL	3	7,5	7,5	30,0
MICROBIANA	8	20,0	20,0	50,0
PECTINA	8	20,0	20,0	70,0
RESIDUOS INDUSTRIALES	7	17,5	17,5	87,5
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	5	12,5	12,5	100,0
Total	40	100,0	100,0	

La tabla 7, indica que los tipos de biomásas residuales empleadas en la mitigación del agua son: las agrícolas con 12,5% (5), algal 10,0% (4), forestal 7,5% (3), microbiana 20% (8), la pectina 20.0% (8), residuos industriales 17,5% (7), y residuos sólidos urbanos 12.5% (5). Dentro de estos valores resaltan las biomásas de tipo pectina y microbiana.

Tabla 8. Correlación tipo de biomosas residuales y mitigación de la polución por metales pesados.

Correlaciones

			TIPOBIOM	MITIGACIÓN
Rho de Spearman	TIPOBIOM	Coeficiente de correlación	1,000	,334*
		Sig. (bilateral)	.	,035
		N	40	40
	MITIGACIÓN	Coeficiente de correlación	,334*	1,000
		Sig. (bilateral)	,035	.
		N	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En la tabla 8, se obtuvo una correlación significativa de $p = 0,035$ menor a 0,05. Lo que permite rechazar la hipótesis nula, y aceptar que el uso característico de biomosas residuales incide en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Tabla 9. Capacidad de las Biomosas Residuales para mitigar la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

TIPO	MEC.	CONCENTRACIÓN	
		INICIAL (mg/L)	FINAL (Mg/L)
Algal	BIOADSORCIÓN	10,00	0,05
Agrícola	BIOADSORCIÓN	10,00	0,06
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	10,00	6,11
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	12,34	2,08
Residuos Sólidos Urb	BIOADSORCIÓN	10,00	0,53
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	11,45	0,45
Pectina	BIOADSORCIÓN	10,00	5,04
Agrícola	BIOADSORCIÓN	17,60	15,86
Pectina	BIOADSORCIÓN	35,71	20,83
Pectina	BIOADSORCIÓN	22,72	19,83
Pectina	BIOADSORCIÓN	0,42	0,02
Pectina	BIOSORCIÓN	20,00	6,78
Residuos Sólidos Urb	BIOADSORCIÓN	0,1	0,08
Residuos Sólidos Urb	BIOSORCIÓN	25,00	16,50
Pectina	BIOSORCIÓN	5,00	0,52
Agrícola	BIOADSORCIÓN	10,00	0,55
Residuos Industriales	BIOSORCIÓN	50,00	48,70
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	34,60	0,08
Pectina	BIOACUMULACIÓN	0,50	0,18
Forestal	BIOSORCIÓN	333,00	294,10
Pectina	BIOADSORCIÓN	20,00	15,00
Microbiana	BIOSORCIÓN	0,60	0,13
Residuos Sólidos Urb	BIOSORCIÓN	35,00	25,7
Forestal	BIOSORCIÓN	0,62	0,24
Residuos Sólidos Urb	BIOSORCIÓN	25,00	19,89
Forestal	BIOSORCIÓN	25,00	0,08
Algal	BIOADSORCIÓN	100,00	83,01
Microbiana	BIOADSORCIÓN	10,00	4,85
Algal	BIOADSORCIÓN	10,00	4,04
Microbiana	BIOSORCIÓN	0,50	0,01
Microbiana	BIOSORCIÓN	18,00	4,07
Microbiana	BIOSORCIÓN	5,00	1,52
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	25,00	5,37
Microbiana	BIOADSORCIÓN	22,00	0,48
Algal	BIOSORCIÓN	50,00	40,66
Microbiana	BIOSORCIÓN	200,00	138,88
Agrícola	BIOADSORCIÓN	5,00	0,27
Agrícola	BIOSORCIÓN	15,00	0,5
Microbiana	BIOACUMULACIÓN	15,00	15,00
Residuos Industriales	BIOADSORCIÓN	0,50	0,12

En la tabla 9, los resultados desplegados evidencia que las biomásas residuales no tienen la misma capacidad para mitigar la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua, teniendo en consideración el tipo de biomasa empleada, y las propiedades del metal. De acuerdo con esto, se procedió a aplicar la correlación de Spearman (Rho) a fin de definir estadísticamente la relación entre las variables concentración inicial y final de la polución por metales pesados antes y después del uso de biomasa.

Tabla 10. Correlación entre concentración inicial y final de las biomásas para mitigar metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Correlaciones

			CONCINICIAL	CONCFINAL
Rho de Spearman	CONCINICIAL	Coeficiente de correlación	1,000	,754**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	40	40
	CONCFINAL	Coeficiente de correlación	,754**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	40	40

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

En la tabla 10 se obtuvo mediante Rho de Spearman, una correlación significativa de $p= 0,000$ menor a 0,05 lo que indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna que indica que las biomásas no tienen la misma capacidad de mitigación de la polución por metales pesados. Esto deviene del contraste de la concentración inicial y final obtenida de los metales, antes y después del uso de biomásas residuales.

Tabla 11. Propiedades Físico Químicas de las biomasas residuales que inciden en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

BIOMASA	TIPO	PROPIEDADES				METAL	MEC.
		pH	Temp °C	Enfr. rpm	Tiempo (min)		
Algas rojas	Algal	2	25	100	60	Cd	BIOADSORCIÓN
Amaranto	Agrícola	1	25	100	25	Cr	BIOADSORCIÓN
Bagasse de Caña de Azúcar	Residuos Industriales	2	18	100	60	Pb	BIOADSORCIÓN
Bagasse de Palma	Residuos Industriales	2	18	100	60	Ni	BIOADSORCIÓN
Borra de Café	Residuos Sólidos Urb	4	30	150	45	Cd	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Arroz	Residuos Industriales	1	30	172	60	As	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Citrus Máxima	Pectina	3	45	150	80	Cr	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Coco	Agrícola	3	45	100	60	Co	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Limón	Pectina	6	45	200	150	Co	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Mandarina	Pectina	4	45	200	250	Hg	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Maracuyá	Pectina	1	35	150	70	Zn	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Naranja	Pectina	5	40	150	90	As	BIOSORCIÓN
Cáscara de Plátano	Residuos Sólidos Urb	6	45	150	60	As	BIOADSORCIÓN
Cáscara de Semilla de Girasol	Residuos Sólidos Urb	5	45	150	120	Cu	BIOSORCIÓN
Cáscara de Toronja	Pectina	4	60	170	30	Mg	BIOSORCIÓN
Cáscara de yuca amarga	Agrícola	1	65	160	60	Cr	BIOADSORCIÓN
Cascarón de Pistacho P.	Residuos Industriales	7	65	200	60	Hg	BIOSORCIÓN
Champiñon común	Residuos Industriales	2	45	100	55	Pb	BIOADSORCIÓN
Corona de Piña	Pectina	2	25	100	55	Ni	BIOACUMULACIÓN
Corteza de Acacia	Forestal	2	30	100	40	Ni	BIOSORCIÓN
Desechos de frutas Citricas	Pectina	1	45	100	40	Cr	BIOADSORCIÓN
Echerichia Coli	Microbiana	1	40	150	30	Cd	BIOSORCIÓN
Escala de pescado residual	Residuos Sólidos Urb	6	45	200	50	Cu	BIOSORCIÓN
Hojas de Eucalipto	Forestal	1	40	100	30	Cr	BIOSORCIÓN
Hojas de Lechuga	Residuos Sólidos Urb	4	45	150	60	Zn	BIOSORCIÓN
Hojas de Nuez de cola	Forestal	5	45	100	90	Cd	BIOSORCIÓN
Jacinto de Agua	Algal	2	65	150	80	Zn	BIOADSORCIÓN
Kluyveromyces Marxianus	Microbiana	6	50	100	60	Zn	BIOADSORCIÓN
Lenteja de Agua	Algal	8	45	100	60	Cu	BIOADSORCIÓN
Levadura de Cerveza	Microbiana	6	40	100	60	Cu	BIOSORCIÓN
Nostoc Spp	Microbiana	2	45	100	120	Cr	BIOSORCIÓN
Pseudomonas	Microbiana	7	60	650	60	Ni	BIOSORCIÓN
Residuos de papa	Residuos Industriales	1	45	150	30	Pb	BIOADSORCIÓN
Serratia Marcesces	Microbiana	5	45	150	30	Pb	BIOADSORCIÓN
Spirogyra Verrucosa	Algal	5	30	150	120	Mn	BIOSORCIÓN
Streptomyces Fradiae	Microbiana	5	45	150	120	Pb	BIOSORCIÓN
Tallo de Plátano (Lignina)	Agrícola	1	45	150	60	Cr	BIOADSORCIÓN
Tamarindo Indica	Agrícola	3	45	150	35	Pb	BIOSORCIÓN
Trichoderma Longibrachiatum	Microbiana	7	45	250	150	Pb	BIOACUMULACIÓN
Zuro de maíz	Residuos Industriales	2	28	100	75	Pb	BIOADSORCIÓN

De acuerdo con los datos generales obtenidos en la tabla 11, las columnas de propiedades, exponen que el pH varía de 1-9, la temperatura de 18 a 80°C, el enfrentamiento de 100 a 250 rpm, y el tiempo oscila entre 25 min a 250 min. Para comprobar lo antes expuesto, se emplea la correlación de Spearman, para medir en que grado las propiedades físico-químicas de las biomásas residuales inciden en la capacidad de mitigación (concentración final).

Tabla 12. Correlación entre la propiedad físico-química pH y la concentración final de los metales pesados.

Correlaciones

			PH	CONCFINAL
Rho de Spearman	PH	Coeficiente de correlación	1,000	,321
		Sig. (bilateral)	.	,043
		N	40	40
	CONCFINAL	Coeficiente de correlación	,321	1,000
		Sig. (bilateral)	,043	.
		N	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En la tabla 12 la correlación es significativa, y el nivel de significancia es $p=0,043$ menor a 0,05, esto indica que se rechaza la hipótesis nula, y por el contrario se acepta que la propiedad físico química “pH” de las biomásas residuales incide sobre la mitigación de metales pesados.

Tabla 13. Correlación de la Propiedad físico-química Temperatura y la concentración final de los metales pesados.

Correlaciones

			TEMP	CONCFINAL
Rho de Spearman	TEMP	Coeficiente de correlación	1,000	,339*
		Sig. (bilateral)	.	,032
		N	40	40
	CONCFINAL	Coeficiente de correlación	,339*	1,000
		Sig. (bilateral)	,032	.
		N	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En la tabla 13, la correlación es significativa en el nivel de significancia $p= 0,032$ menor a 0,05, lo que permite rechazar la hipótesis nula y aceptar que la propiedad físico química “temperatura” de las biomásas incide sobre la mitigación de metales pesados.

Tabla 14. Correlación de la propiedad físico química frecuencia (rpm) la concentración final de los metales pesados.

Correlaciones

			RPM	CONCFINAL
Rho de Spearman	RPM	Coeficiente de correlación	1,000	,344*
		Sig. (bilateral)	.	,030
		N	40	40
	CONCFINAL	Coeficiente de correlación	,344*	1,000
		Sig. (bilateral)	,030	.
		N	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En la tabla 14 se observa una correlación significativa en el nivel $p= 0,030$ menor de 0,05, indicando que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta que la propiedad físico-química “rpm” de las biomásas residuales incide en la mitigación de la polución por metales pesados.

Tabla 15. Correlación de la propiedad físico-química Tiempo y la concentración final de los metales pesados.

Correlaciones

			TIEMPO	CONCFINAL
Rho de Spearman	TIEMPO	Coeficiente de correlación	1,000	,344*
		Sig. (bilateral)	.	,030
		N	40	40
	CONCFINAL	Coeficiente de correlación	,344*	1,000
		Sig. (bilateral)	,030	.
		N	40	40

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En la tabla 15, la correlación es significativa en el nivel $p=0,030$ menor a 0,05 indicando que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta que la propiedad físico-química “tiempo” de las biomásas incide sobre la mitigación de metales pesados.

Tabla 16. Efectividad de las Biomosas Residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

TIPO	METAL	MEC.	CONCENTRACIÓN		EFEC
			INICIAL (mg/L)	FINAL (Mg/L)	
Algal	Cd	BIOADSORCIÓN	10,00	0,05	99
Agrícola	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	0,06	63
Residuos Industriales	Pb	BIOADSORCIÓN	10,00	6,11	45
Residuos Industriales	Ni	BIOADSORCIÓN	12,34	2,08	98
Residuos Sólidos Urb	Cd	BIOADSORCIÓN	10,00	0,53	97
Residuos Industriales	As	BIOADSORCIÓN	11,45	0,45	96
Pectina	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	5,04	50
Agrícola	Co	BIOADSORCIÓN	17,60	15,86	98
Pectina	Co	BIOADSORCIÓN	35,71	20,83	96
Pectina	Hg	BIOADSORCIÓN	22,72	19,83	72
Pectina	Zn	BIOADSORCIÓN	0,42	0,02	94
Pectina	As	BIOSORCIÓN	20,00	6,78	68
Residuos Sólidos Urb	As	BIOADSORCIÓN	0,1	0,08	80
Residuos Sólidos Urb	Cu	BIOSORCIÓN	25,00	16,50	76
Pectina	Mg	BIOSORCIÓN	5,00	0,52	99
Agrícola	Cr	BIOADSORCIÓN	10,00	0,55	94
Residuos Industriales	Hg	BIOSORCIÓN	50,00	48,70	98
Residuos Industriales	Pb	BIOADSORCIÓN	34,60	0,08	100
Pectina	Ni	BIOACUMULACIÓN	0,50	0,18	64
Forestal	Ni	BIOSORCIÓN	333,00	294,10	70
Pectina	Cr	BIOADSORCIÓN	20,00	15,00	75
Microbiana	Cd	BIOSORCIÓN	0,60	0,13	78
Residuos Sólidos Urb	Cu	BIOSORCIÓN	35,00	25,7	74
Forestal	Cr	BIOSORCIÓN	0,62	0,24	61
Residuos Sólidos Urb	Zn	BIOSORCIÓN	25,00	19,89	86
Forestal	Cd	BIOSORCIÓN	25,00	0,08	90
Algal	Zn	BIOADSORCIÓN	100,00	83,01	83
Microbiana	Zn	BIOADSORCIÓN	10,00	4,85	52
Algal	Cu	BIOADSORCIÓN	10,00	4,04	60
Microbiana	Cu	BIOSORCIÓN	0,50	0,01	95
Microbiana	Cr	BIOSORCIÓN	18,00	4,07	77
Microbiana	Ni	BIOSORCIÓN	5,00	1,52	32
Residuos Industriales	Pb	BIOADSORCIÓN	25,00	5,37	79
Microbiana	Pb	BIOADSORCIÓN	22,00	0,48	97
Algal	Mn	BIOSORCIÓN	50,00	40,66	91
Microbiana	Pb	BIOSORCIÓN	200,00	138,88	27
Agrícola	Cr	BIOADSORCIÓN	5,00	0,27	95
Agrícola	Pb	BIOSORCIÓN	15,00	0,5	95
Microbiana	Pb	BIOACUMULACIÓN	15,00	15,00	100
Residuos Industriales	Pb	BIOADSORCIÓN	0,50	0,12	93

En la tabla 16, se evidencia una variación en los niveles de mitigación, estos devienen de la concentración inicial y final que presentaron los metales pesados en los cuerpos naturales de agua, una vez que fueron aplicadas las biomazas residuales, logrando mitigar la polución con una efectividad que va desde 18% a 99%.

Tabla 17. Niveles de efectividad de las Biomazas Residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Estadísticos

NIVEFECT

N	Válido	40
	Perdidos	0

NIVEFECT

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Baja	3	7,5	7,5	7,5
	Media	11	27,5	27,5	35,0
	Alta	26	65,0	65,0	100,0
	Total	40	100,0	100,0	

La tabla 17, presenta un resumen de la efectividad de las biomazas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua, desprendida de las investigaciones objeto de estudio, determinando así que estas logran una mitigación baja 7,5% (3), media 27,5% (11) y alta 65% (26). Es preciso indicar, que el nivel bajo no indica que no se haya producido efectividad, sino en un grado de concentración final menor respecto a la biomasa residual empleada.

Tabla 18. Correlación entre la mitigación de la polución por metales pesados y la efectividad de las biomasas.

Correlaciones

			MITIGACIÓ	NIVEFECT
			N	
Rho de Spearman	MITIGACIÓN	Coeficiente de correlación	1,000	1,000 ^{**}
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	40	40
	NIVEFECT	Coeficiente de correlación	1,000 ^{**}	1,000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	40	40

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

En la tabla 18 se obtuvo una correlación significativa de $p=0,000$ menor a 0,05 lo que permite rechazar la hipótesis nula, y se acepta que las biomasas residuales son efectivas en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua.

Tabla 19. Efectividad de las biomasas residuales sobre Arsénico (As).

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Cáscara de Arroz	Residuos Industriales	11,45	0,45	96
Cáscara de Naranja	Pectina	20,00	6,78	68
Cáscara de Plátano	Residuos Sólidos Urb	0,1	0,08	80

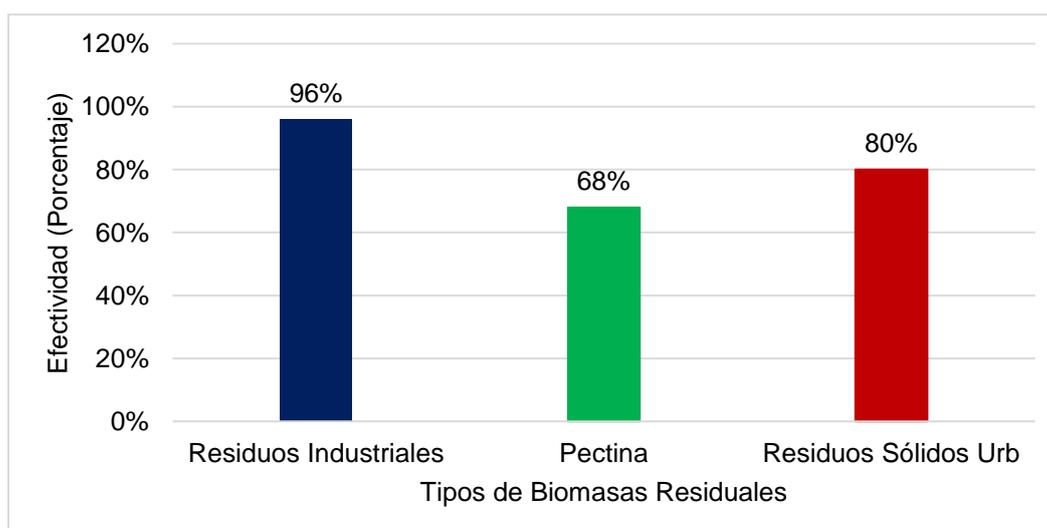


Figura 1. Porcentaje de efectividad de las Biomosas Residuales sobre el Arsénico (As).

En la figura 1, se observa la efectividad que tienen las diversas biomosas sobre el metal pesado Arsénico (As), entre ellas se ubica a los residuos industriales con 96%, Residuos sólidos urbanos con 80%, las pectinas con 68%.

Tabla 20. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Cadmio (Cd)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Algas rojas	Algal	10,00	0,05	99
Borra de Café	Residuos Sólidos Urb.	10,00	0,53	97
Echerichia Coli	Microbiana	0,60	0,13	78
Hojas de Nuez de cola	Forestal	25,00	0,08	90

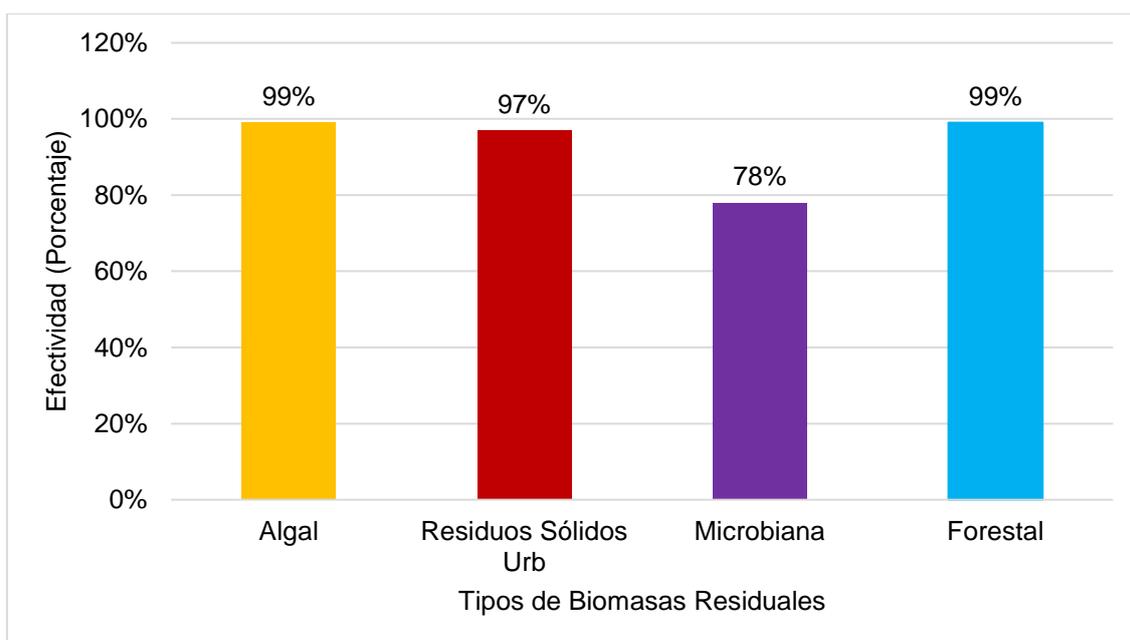


Figura 2. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Cadmio (Cd)

En la figura 2 se observa que las biomosas más efectivas sobre el metal pesado Cadmio (Cd) son las siguientes: Algal 99%, los residuos sólidos urbanos 97%, microbianas 78% y las forestales 99%.

Tabla 21. Efectividad de las biomosas residuales sobre Cobalto (Co)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Cáscara de Coco	Agrícola	17,60	15,86	98
Cáscara de Limón	Pectina	35,71	20,83	96

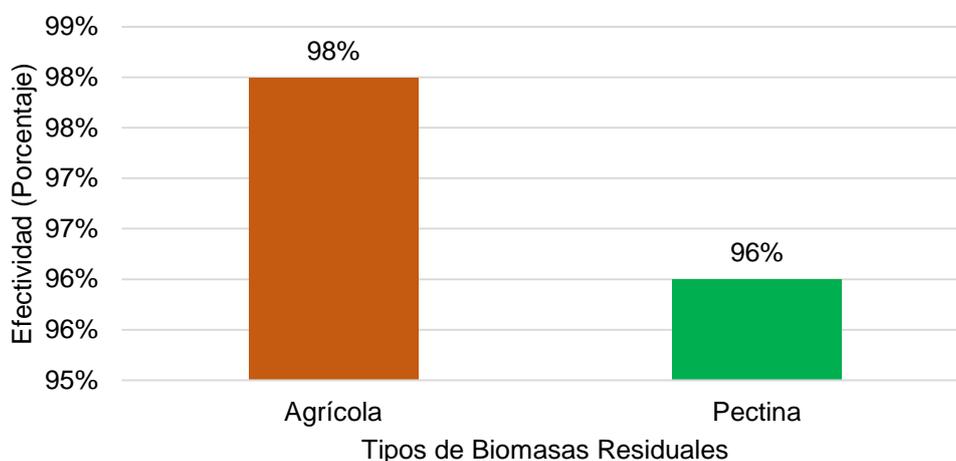


Figura 3. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Cobalto (Co)

En la figura 3, se evidencia que sobre el Cobalto (Co) tiene una efectividad del 98% las biomosas agrícolas y 96% las pectinas.

Tabla 22. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Cromo (Cr)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Amaranto	Agrícola	10,00	0,06	63
Cáscara de Citrus Máxima	Pectina	10,00	5,04	50
Cáscara de yuca amarga	Agrícola	10,00	0,55	94
Desechos de frutas Cítrica	Pectina	20,00	15,00	75
Hojas de Eucalipto	Forestal	0,62	0,24	61
Nostoc Spp	Microbiana	18,00	4,07	77
Tallo de Plátano (Lignina)	Agrícola	5,00	0,27	95

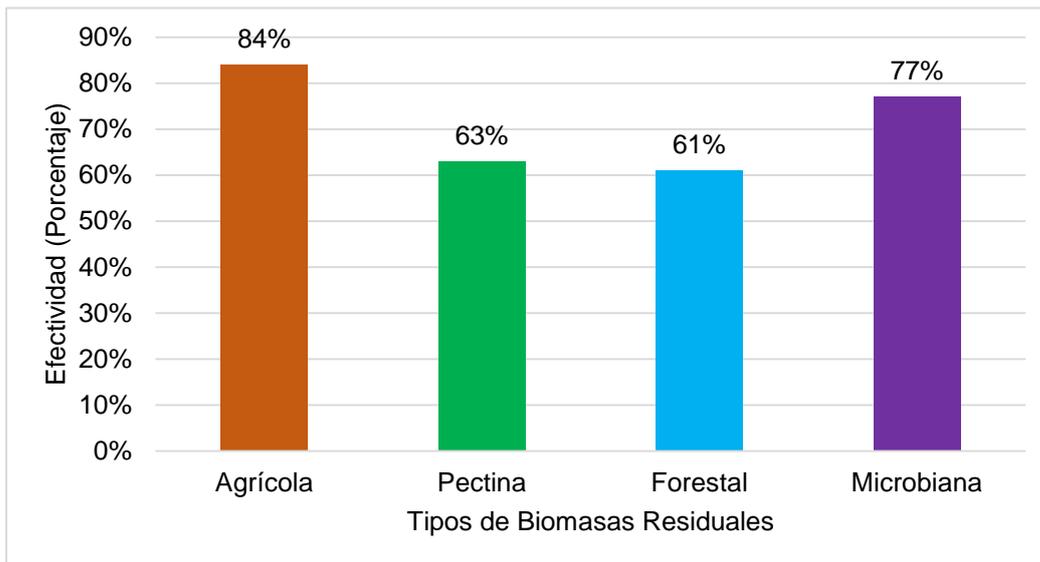


Figura 4. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Cromo (Cr)

En la figura 4, se presentan las biomosas residuales y los niveles de efectividad según tipo sobre el cromo, entre ellas se localiza las agrícolas con 84%, pectina 63%, forestal 61% y microbianas con 77%.

Tabla 23. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Cobre (Cu)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFACT.
Cáscara de Semilla de Girasol	Residuos Sólidos Urb.	25,00	16,50	76
Escala de pescado residual	Residuos Sólidos Urb.	35,00	25,7	74
Lenteja de Agua	Algal	10,00	4,04	60
Levadura de Cerveza	Microbiana	0,50	0,01	95

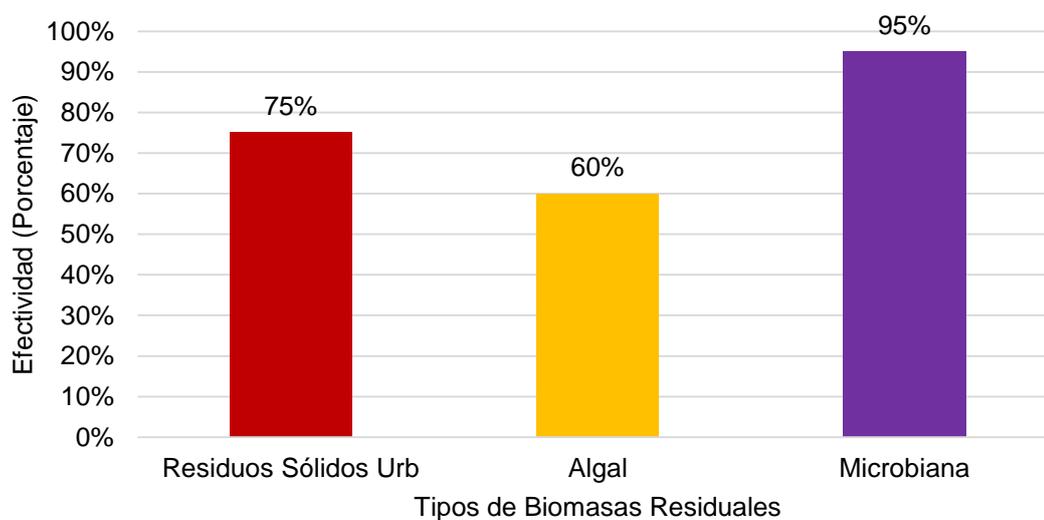


Figura 5. Porcentajes de efectividad de las biomazas residuales sobre el Cobre (Cu)

En la figura 5, se muestran las biomazas residuales que son efectivas en la mitigación de la polución del metal pesado cobre (Cu), entre ellas destacan, los residuos sólidos urbanos 75%, algal 60% y microbiana 95%.

Tabla 24. Efectividad de las biomazas residuales sobre el Mercurio (Hg)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Cáscara de Mandarina	Pectina	22,72	19,83	72
Cascarón de Pistacho P.	Residuos Industriales	50,00	48,70	98

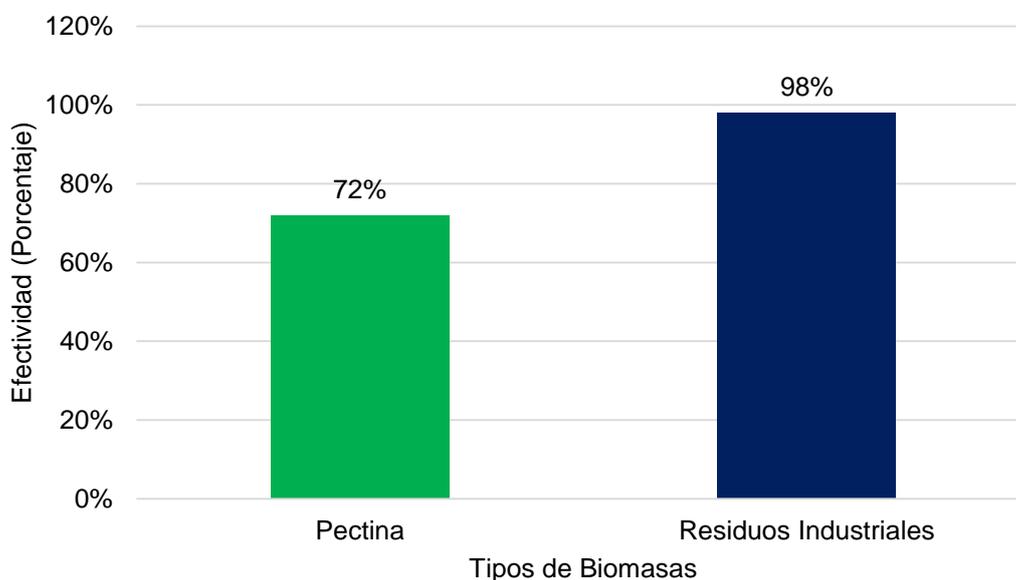


Figura 6. Porcentajes de efectividad de las biomazas residuales sobre el Mercurio (Hg)

En la figura 6, se presentan los porcentajes de efectividad obtenidos para el metal pesado Mercurio (Hg) a través del uso de diversas biomazas residuales, entre ellas se ubican las pectinas con 72% de efectividad y los residuos industriales con un 98%.

Tabla 25. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Magnesio (Mg)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Cáscara de Toronja	Pectina	5,00	0,52	99

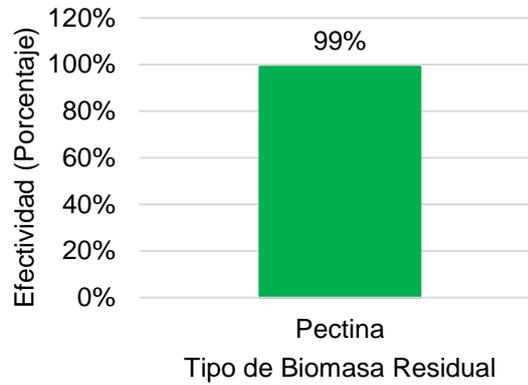


Figura 7. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Magnesio (Mg)

En la figura 7, se muestra el porcentaje de efectividad de la biomasa residual de tipo pectina (Cáscara de toronja) sobre el metal pesado Magnesio (Mg), que obtuvo un 99%.

Tabla 26. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Manganeso (Mn)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Spirogyra Verrucosa	Algal	50,00	40,66	91

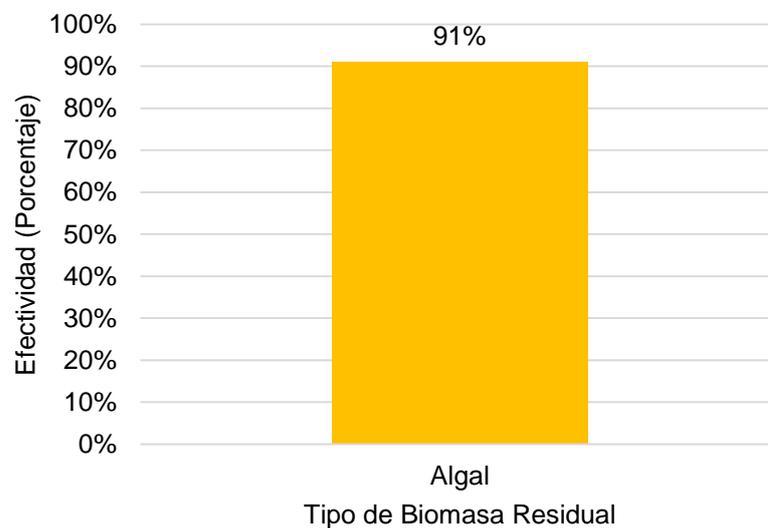


Figura 8. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Manganeso (Mn)

En la figura 8, se muestra el porcentaje de efectividad de la biomasa residual de tipo algal (Spirogyra Verrucosa) sobre el metal pesado Mangnesio (Mn), que obtuvo un 91%.

Tabla 27. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Níquel (Ni)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Bagasse de Palma	Residuos Industriales	12,34	2,08	98
Corona de Piña	Pectina	0,50	0,18	64
Corteza de Acacia	Forestal	333,00	294,10	70
Pseudomonas	Microbiana	5,00	1,52	32

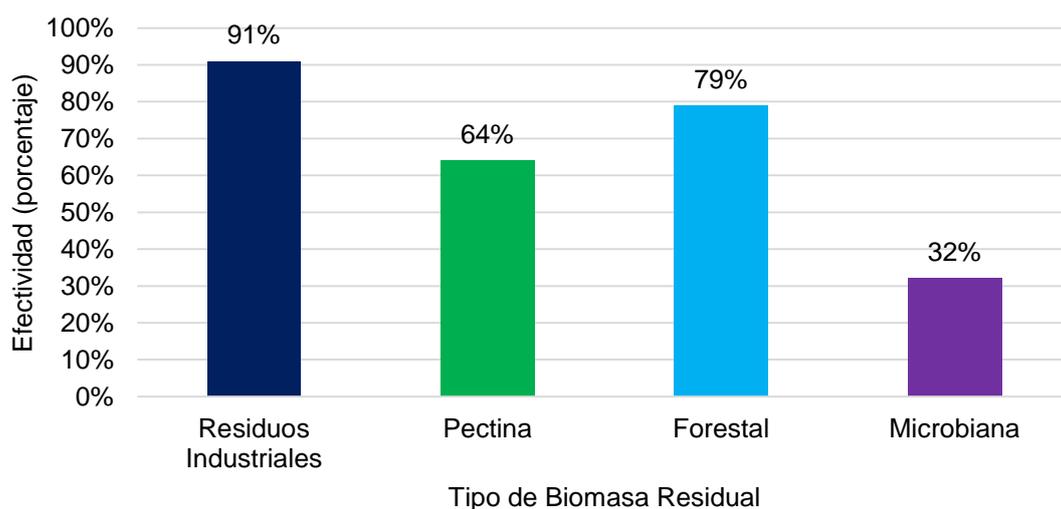


Figura 9. Porcentaje de efectividad de la biomasa residual sobre el Níquel (Ni)

En la figura 9, se gráfica el porcentaje de efectividad que tienen las biomosas sobre el Níquel (Ni), entre ellas destacan: los residuos industriales con 91%, la pectina con 64%, la forestal con 79% y la microbiana 32%.

Tabla 28. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Plomo (Pb)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Bagasse de Caña de Azúcar	Residuos Industriales	10,00	6,11	45
Champiñón común	Residuos Industriales	34,60	0,08	100
Residuos de papa	Residuos Industriales	25,00	5,37	79
Serratia Marcesces	Microbiana	22,00	0,48	97
Streptomyces Fradiae	Microbiana	200,00	138,88	27
Tamarindo Indica	Agrícola	15,00	0,5	95
Trichoderma Longibrachiatum	Microbiana	15,00	15,00	100
Zuro de maíz	Residuos Industriales	0,50	0,12	93

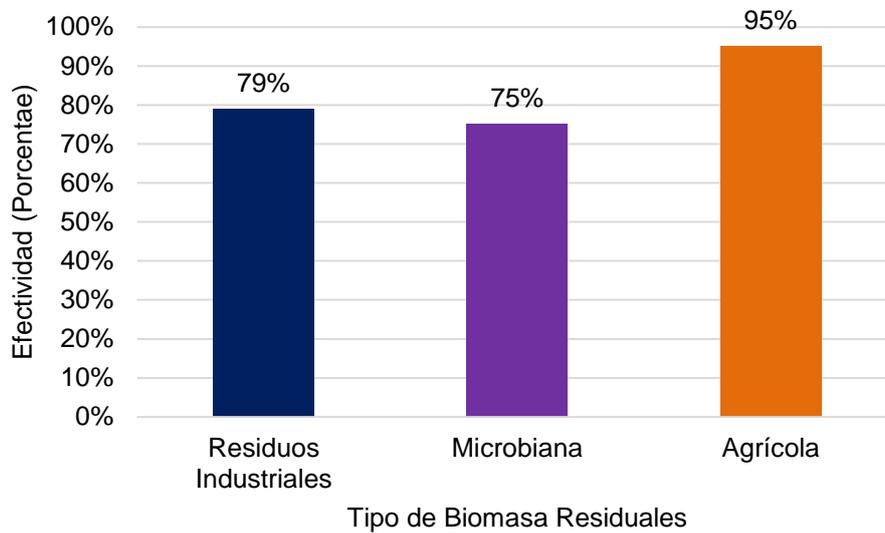


Figura 10. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Plomo (Pb)

En la figura 10, se muestran los porcentajes de efectividad de acuerdo con los diversos tipos de biomosas usadas para mitigar la polución por el metal pesado Plomo (Pb), dentro de estas se ubican, los residuos industriales con 79%, las microbianas con 75% y las agrícolas con 95% de efectividad.

Tabla 29. Efectividad de las biomosas residuales sobre el Zinc (Zn)

BIOMASA	TIPO	C. INICIAL	C.FINAL	EFFECT.
Cáscara de Maracuyá	Pectina	0,42	0,02	94
Hojas de Lechuga	Residuos Sólidos Urb	25,00	19,89	86
Jacinto de Agua	Algal	100,00	83,01	83
Kluyveromyces Marxianus	Microbiana	10,00	4,85	52

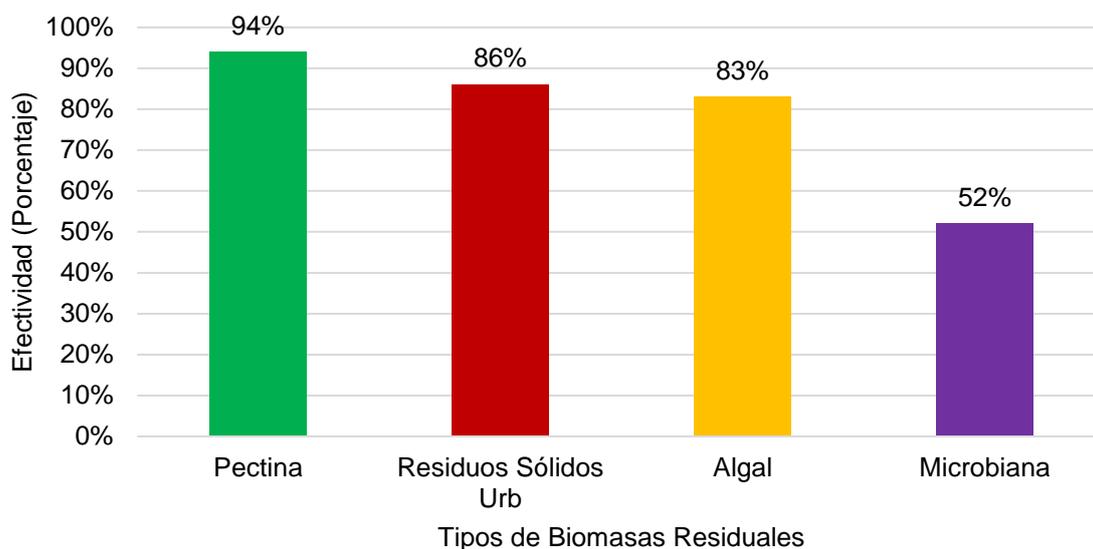


Figura 11. Porcentajes de efectividad de las biomosas residuales sobre el Zinc (Zn)

En la figura 11, se muestran los porcentajes de efectividad que tienen algunas biomosas sobre el metal pesado Zinc (Zn), entre ellas se ubican, la pectina con 94%, los residuos sólidos urbanos con 86%, algal 83% y las microbianas con 52%.

V. DISCUSIÓN

El presente estudio permitió identificar la capacidad de mitigación de la polución por metales pesados que tienen las diversas biomásas, no obstante, destacan principalmente tres, las microbianas con mayor mitigación de los metales como zinc (Zn), plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), y cadmio (Cd); asimismo, las pectinas sobre el zinc (Zn), níquel (Ni), magnesio (Mg), mercurio (Hg), cromo (Cr) y arsénico (As), y por último, los residuos industriales, sobre los metales plomo (Pb), níquel (Ni), mercurio (Hg) y arsénico (As).

De acuerdo con las pruebas estadísticas Rho de Spearman, se obtuvo que $p=0,035$ es menor a $0,05$ lo que indica que las biomásas no tienen la misma capacidad de mitigación de la polución por metales pesados, a mayor caracterización mayor será la variación de sus efectos. Asimismo, lo evidencia la concentración inicial y final del metal, que estadísticamente resultó $p=0,000$, estos resultados concuerdan con los estudios de Huang-Ping et al. (2014), Dávila et al. (2015), tanto de Abraham y Foster (2020), quienes destacan los beneficios de las biomásas en la disminución en concentraciones de metal y la variedad que ofrecen las mismas para mitigar contaminaciones de cuerpos de agua.

Al respecto, Tejada et al. (2016), indica que esta capacidad de mitigación depende en gran medida no sólo de las propiedades de las biomásas, sino de los mecanismos usados para la adsorción, ya que son los que permiten captar y remover la toxicidad de los metales, considerando que estos tienen sus propias características físico-químicas.

En virtud de lo expuesto, los mecanismos usados para la mitigación de la polución por metales pesados son los de bioadsorción y bioacumulación, como recursos biotecnológicos, asequibles a la economía y de fácil implementación, que no tienen repercusiones ambientales, o efectos secundarios como los lodos químicos, por otra parte, se debe considerar que los metales pesados pueden tener un efecto letal hacia la biomasa viva, no obstante, Cañizares (2000) indica que las biomásas residuales tienen la capacidad de activar mecanismos para contrarrestar dichos efectos tóxicos, siendo un recurso de alta eficiencia.

Respecto a las propiedades físico-químicas de las biomásas y su incidencia en la mitigación de la contaminación por metales pesados, se tiene que estas tienen una incidencia preponderante sobre los efectos que tienen las biomásas sobre cada metal, estadísticamente se obtuvo para el pH $p=0,000$, temperatura $p=0,032$, rpm $p=0,030$ y tiempo $p=0,030$, todos los resultados indican que son significativos menor a 0,05, indicando que existe una correlación positiva fuerte.

En virtud de lo expuesto, las biomásas residuales tienen características que son de provecho para la mitigación de la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua diversos, sus propiedades energéticas y la composición química tienen una incidencia sobre esta (Fernández, 2010). En el marco de estudios que respaldan estos resultados se ubica a Suyfan (2014), Rajamohan (2014), Bonsad y Nandkar (2016), Mihăiescu (2016) y Chacaltana (2018).

Igualmente, Tejada, Villabona y Garcés (2012), indican que, en efecto, así como las biomásas tienen propiedades energéticas, también se adicionan las físico-químicas, a las cuales están sometidas y pueden alterar u optimizar su capacidad de concentración y remoción de metales pesados, entre estos se ubica la temperatura, un aumento de esta puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción.

Asimismo, se presenta el efecto del pH, su valor en la fase acuosa es el elemento más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4 (Garcés y Romero, 2008).

Por su parte, las biomásas tienen una efectividad alta en la mitigación de metales pesados de 65%, que corresponde a 26 estudios de los 40 tomados de muestra; estadísticamente existe una correlación positiva fuerte $p=0,000$ entre la mitigación y los niveles de efectividad; es preciso indicar que los resultados de efectividad medidos como baja y media, son significativos para el estudio, ya que indican que si hay mitigación, sólo que se evidencia en concentraciones de metal más bajo, y como se indica en la parte superior, esta deviene del tipo de biomásas y sus propiedades físico-químicas en contacto con los tipos de metales,

esto se evidencia a través de los estudios de Gutiérrez (2015), Miranda (2017), Gautam et al. (2013), Del Carpio (2017), Abraham y Foster (2020), entre otros.

Análogamente en el estudio, se pudo identificar las biomásas usadas para el tratado de los once (11) metales que forman parte del estudio, entre ellas se ubica: para el tratado del arsénico (As) las biomásas derivadas de residuos industriales 96%, pectina 68% y residuos sólidos urbanos 80%; para el cadmio (Cd) se tienen las biomásas algales con 99% de efectividad, residuos sólidos urbanos con 97%, microbianas con 78% y forestal con 99%.

Para el cobalto (Co), la agrícola 98% y pectina con 96%; para el cromo (Cr) agrícola 84%, pectina 63%, forestal 61% y microbiana 71%; para el cobre (Cu) los residuos sólidos urbanos 75%, algal 80% y microbiana 95%. En el caso del mercurio (Hg), las pectinas con 72% y residuos industriales con 98%; el magnesio (Mg) las pectinas en un 99%; para el manganeso (Mn) las algales en un 91%.

En el caso del níquel (Ni) las biomásas derivadas de residuos industriales en un 91%, pectinas 64%, forestales 79% y microbianas en 32%. Para el plomo (Pb) los residuos industriales 79%, microbianas 75%, algal 95%; finalmente para el zinc (Zn) las pectinas con 94%, residuos sólidos urbanos 86%, algal 83% y las microbianas con 52%.

De dicha revisión, se desprende que en los últimos 7 años las investigaciones han ampliado sus horizontes a una amplia gama de biomásas para la mitigación de la contaminación de los cuerpos de agua, entre los que se incluyen derivados agrícolas, algales, microbianas, forestales, pectinas, residuos industriales y sólidos urbanos, que han determinado su efectividad sobre diversos metales y circunstancias, que recalcan la importancia de las biotecnologías al servicio de la naturaleza y del hombre, recursos que además no tienen un costo económico ni un impacto ambiental secundario, siendo cada vez más un medio factible para el tratado de la polución.

VI. CONCLUSIONES

- Se analizó sistemáticamente el uso de las biomásas residuales para la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos de agua, las biomásas más usadas fueron agrícola, microbiana, pectina, forestar, algal, residuos industriales y residuos sólidos urbanos.
- Las biomásas residuales algal, forestal y residuos sólidos urbanos tienen mayor capacidad de mitigación sobre el cadmio (Cd) y Manganeseo (Mn), sobre el cobalto (Co) tienen mayor campo de acción las agrícolas y pectinas. Para el cromo (Cr) y plomo (Pb) son las agrícolas. Con base en el metanálisis aplicado a los estudios precedentes se determina que las biomásas residuales industriales tienen mayor capacidad de mitigación sobre el arsénico (As), el mercurio (Hg) y el níquel (Ni).
- Estadísticamente se determinó que las propiedades físico-químicas de las biomásas como el pH, la temperatura (°C), las revoluciones por minuto (rpm), el tiempo de exposición (minutos), son elementos que tienen una correlación significativa con la capacidad que tienen las biomásas para mitigar la polución por metales pesados, algunas de ellas varían de menor a mayor, teniendo un efecto positivo sobre la concentración final del metal.
- Mediante el metanálisis de los estudios sobre las biomásas residuales determina que tienen una efectividad en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua en un nivel alto de 65%, el cual varía en función de las biomásas y metales usados. De acuerdo a la sistematización de la información las biomásas residuales microbianas, son eficaces en la mitigación del metal pesado cobre (Cu) y las más efectivas en la mitigación de la polución causada por el magnesio (Mg) y zinc (Zn) son las pectinas.

VII. RECOMENDACIONES

-Se recomienda desarrollar investigaciones de índole experimental sobre las biomasas residuales en diversos cuerpos de agua, considerando los resultados del presente estudio.

-Se recomienda hacer experimentos considerando la variabilidad que tiene sobre la mitigación las propiedades físico-químicas de las biomasas residuales, así como de los metales.

REFERENCIAS

ABIDEEN, I.; SARAFADDEEN, O., JOHN, D. & ENITAN, B. Kinetics and balance parameters of biosorption and bioaccumulation of lead ions from aqueous solutions by *Trichoderma Longibrachiatum*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* [en línea]. Abril-mayo 2013, n° 55. [Fecha de consulta: 10 de enero de 2020]. Disponible en: https://www.jmbfs.org/issue/april-may-2013-vol-1-no-5/adeogun_jmbfs_0047/?issue_id=1036&article_id=3

ABRAHAM, Z. & FOSTER, M. Biosorption studies of Cd and Cr from aqueous solution using kola nut leaves as a low-cost biosorbent. *Journal of Chemistry* [en línea]. Febrero 2020. [Fecha de consulta: febrero 25 de 2020]. DOI:10.1155/2020/6042398

ALBIS, A., CAJAR R., y DOMÍNGUEZ, L. Análisis cinético de la Adsorción de Cr (VI) en soluciones acuosas a concentraciones de 10-20 mg/L con el uso de cáscara de yuca amarga (*Manihot esculenta*). *Prospect* [en línea]. Junio 2015, n° 2. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n2/v13n2a08.pdf>

ARIAS, Fidias. El proyecto de investigación. Una introducción a la investigación científica. 6.^a Editorial Episteme: República Bolivariana de Venezuela, 2016, 146 pp. ISBN: 980-07-8529-9

BANGARAJAH, P. & BABU, S. Biosorption and kinetics of lead using *Tamarindus Indica*. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. [en línea]. July 2017 N° 9. [Fecha de Consulta: 03 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/cdb397e8bd26c2f65dccb40c6a23f62f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=54977>

BIOSORCIÓN de metales pesados por Dávila Paula [et al]. *Latin American Journal of Science Education* [en línea]. Julio 2015, n° 3. [Fecha de consulta: 28

de abril de 2020]. Disponible en:
http://www.lajse.org/may16/12008_Davila_2016.pdf ISSN: 2007-9842.

BIOADSORCIÓN de cromo (vi) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*Amaranthus caudatus*) por Rodríguez Adriana [et al]. Avances en Ciencia e Ingeniería [en línea]. Junio 2017, n° 2. [Fecha de consulta: 01 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652282002.pdf>

BIOSORPTION of Pb (II) ions from aqueous solutions by residual biomass of *Streptomyces fradiae* pretreated with NaOH by Kiorva G. [et al]. Biotechnology and biotechnological equipment [en línea]. June 2015, n°4. [Fecha de consulta: 02 de junio de 2020]. DOI:10.1080/13102818.2015.1036775.

BIOSORPTION of Heavy Metals by *Pseudomonas* Species Isolated From Sugar Industry by Tayyaba Naz [et al]. Toxicol Ind Health [en línea]. Sept 2016. N° 9. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25739395/>

BANSOD, S. & NANDKAR, P B. Biosorption of Mn (II) by *Spirogyra verrucosa* collected from Manganese Mine Water. Plant Science Today, [en línea]. Ago. 2016, n° 3. [Fecha consulta: 24 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://horizonpublishing.com/journals/index.php/PST/article/view/244> >. Fecha de acceso: 08 de junio de 2020. doi: <https://doi.org/10.14719/pst.2016.3.3.244>.

CASTILLO, Lourdes. Análisis documental. Biblioteconomía. 30 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.uv.es/macass/T5.pdf>

CENTRO Tecnológico Agrario y Agroalimentario. Biomásas, biocombustibles y sostenibilidad [en línea]. Palencia S.L: Graficolor. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

CCENCHO, Susan. Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018. Tesis (Título en ingeniería ambiental). Perú: Universidad César Vallejo, 2018.

CHACALTANA, Gianluigi. Uso de borra de café como bioadsorbente para la remoción de Cadmio y Plomo disuelto en el agua del río Añasmayo sector la Perla- Huaral, 2018. Tesis. Ingeniero Ambiental. Lima: Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/18614>

DECKER, A. (2013). Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions Using Water Hyacinth as a Low Cost Biosorbent. Civil and Environmental Research [en línea]. June 2013, n ° 2. [Consultado el 02 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/1544676/11._17-24_Biosorption_of_Heavy_Metals_from_Aqueous_Solutions_Using_Water_Hyacinth_as_a_Low_Cost_Biosorbent

DE LUCAS, Ana y DEL PESO, Carlos. Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. TRANSBIOMA FP [en línea]. Junio 2013, n ° 1. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

DEL CARPIO, Carla. Estudio de la bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) usando como biomasa a Escherichia Coli aislada de las aguas contaminadas del Río Huatanay de la ciudad del Cusco. Tesis. Doctora en Ciencias, y Tecnologías Medioambientales. Arequipa: Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5361>

DESARROLLO de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras por Vera Luisa [et al]. Afinidad [en línea]. Marzo 2015, n ° 73. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/312048/402145>

ESPINOZA, Joao y MARSHALL, Richard. Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos "Limón y Toronja" para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas. Tesis (Ingeniería Química). Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2016.

FACTORES de mayor influencia en la adsorción de metales pesados por biomasa seca de *Kluyveromyces Marxianus* CCEBI 2011 por Fernández Magda [et al]. Tecnología Química [en línea]. Abril 2018, n ° 2. [Fecha de consulta 2 de mayo de

FERNÁNDEZ, José. Guía completa de la biomasa y los biocombustibles [en línea] Vicente ed. Madrid, 2013. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558422011>

GAUTMAN, P.; SINGH, D. & BHADARIA, S. Biosorption of Lead (II) from Aqueous Solution by *Agaricus bisporus*. Nature Environment and Pollution Technology [en línea]. June 2013, n °3. [Fecha de Consulta: 13 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/33683ba328cf5e918ed775ce6df6b320/1?q-origsite=gscholar&cbl=1606374>

GUTIÉRREZ, Susana. Estudio de la Bioadsorción de Cadmio y Plomo con Biomasa de *Serratia Marcescens* M8a-2T, a Nivel de Laboratorio. Tesis. Doctor en Ciencias Biológicas. Lima: Universidad Nacional Mayor San Marcos, 2015. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4126>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill. México. 2014.

HUAN-PING, Chao, CHUNG-CHENG, Chang, y AILEEN, Nieva. Biosorption of heavy metals in maximum citrus peel, passion fruit peel and sugarcane bagasse in a fixed bed column. [en línea], China, Elsevier, setiembre de 2014, [fecha de consulta: 9 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://s100.copyright.com/AppDispatchServlet?publisherName=ELS&contentID=S1226086X1300659X&orderBeanReset=true>

HURTADO DE BARRERA, J. Metodología de la Investigación Holística (6ta Edición). Caracas: Editorial SYPAL. 2014.

INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. Presidencia del Consejo de Ministros. INEI, 2014. 04 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/>

LAZARTE, Ernesto, NONATO, July y VALLEJOS, Frank. Uso de la cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*) para la bioadsorción de metales pesados de cobre y zinc en aguas del río Chillón, Callao, 2019. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2019. Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/35703/B_Lazarte_SER-Nonato_CJK-Vallejos_DFK.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LEY n.º 28613 del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 05 de julio de 2018.

LINEA VERDE. Especiales ambientales contaminantes. 07 de mayo de 2020. Disponible en: <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/contaminantes/Contaminacion-por-metales-pesados.asp#>

LETTUCE Leaves as Biosorbent Material to Remove Heavy Metal Ions from Industrial Wastewater by Sufyan Shartoon [et al]. Baghdad Science Journal. [en línea]. Sept 2014, nº 3. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://bsj.uobaghdad.edu.iq/index.php/BSJ/article/view/2006>

MIHAJESCU, T.; STANIJA, A.; ODAGIU A.& MIHAJESCU, R. Assessment of Copper and Lead Biosorption from Aqueous Solutions by Brewer's Yeast. PR Environment Promediu; Cluj-Napoca. [en línea]. June 2016, nº 28. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/068241361f0dd652976e6d8f9cf2e398/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2046431>

MAZA, Jaime, SÁNCHEZ, Arturo, y CARMONA, Norma. Biosorción de arsénico con biomásas derivadas de las cáscaras de banano, arroz y coco en aguas excedentes de plantas de beneficio. Tesis. (Ingeniería Ambiental). Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Maza_Maza/publication/336839434_Biosorcion_de_arsenico_con_biomásas_derivadas_de_las_cáscaras_de_banano_arroz_y_coco_en_aguas_excedentes_de_plantas_de_beneficio/links/5db60e0fa6fdccc99da8a5fc/Biosorcion-de-arsenico-con-biomásas-derivadas-de-las-cáscaras-de-banano-arroz-y-coco-en-aguas-excedentes-de-plantas-de-beneficio.pdf

MINISTERIO de Salud (Perú). NTS N° 976 – 2018-MINSA/DGE - V.01, Norma Técnica de Salud que Establece la Vigilancia Epidemiológica en Salud Pública de Factores de Riesgo por Exposición e Intoxicación por Metales Pesados y Metaloides. Lima: MINSA, 2018, 44 pp.

MIRANDA, Norberto. Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (*Globulus labill*). Tesis. Doctor en Ciencias, Tecnología y Ambiente. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8747>

NORMA Oficial Mexicana (México) PROY-127-SSA1-250-2007, modifica a la Norma NOM-127-SSA1-1994-SALUD [en línea]. Para uso y consumo humano establece límites máximos permisibles de la calidad del agua. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en: www.cofemermin.gob.mx.

ORDOÑEZ, Alejandra. Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la industria de la papa (*Solanum tuberosum*) para remoción de metales pesados en aguas contaminadas. Tesis. Ingeniera Biotecnológica de los Recursos Naturales. Ecuador: Universidad Politécnica de Salesiana Sede Cuenca, 2019. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14969/1/UPS-CT007386.pdf>

ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO 2020. 15 de abril de 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2018/es/>

PENEDO, Margarita, MANALS, Emma, VENDRELL, Frank, y SALAS, Dolores (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química* [en línea]. Abril 2015, n ° 1. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852015000100010

PILCO, Marco y VIERA, Gina. Determinación de la eficiencia de biorremoción de metales pesados con cianobacteria *Nostoc* spp., de los páramos andinos: Papallacta, Pintag y Guamote; caso: efluente de curtiembre, Totoras-Ambato. Tesis. Ingeniería Ambiental. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2014. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7698>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. La situación de las aguas residuales en Lima. [Página Web]. PUCP. [Fecha de Consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>

QUIÑONES, Edgar, TEJADA, Candelaria, ARCIA, César., y RUÍZ, Víctor (2013). Remoción de Plomo y Níquel en Soluciones Acuosas Usando Biomasa Lignocelulósicas: Una Revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea]. Julio-diciembre 2013, n ° 2. [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a23.pdf>

RAJAMOHAN, N. Biosorption of Mercury onto Protonated Pistachio Hull Wastes – Effect of Variables and Kinetic Experiments. *International Journal of Chemical Engineering and Applications* [en línea]. Oct 2014. N° 5. [Fecha de Consulta: 02 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.ijcea.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=58&id=756>

RAMÍREZ, José y ENRÍQUEZ, Maryeni (2015). Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del pseudo tallo de plátano. *Acta*

Agronómica [en línea]. Diciembre 2014, n^o 3. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n3/v64n3a01.pdf>
SALEH M.E., EL-REFAEY, A.A., & MAHMOUD, A.H. Effectiveness of sunflower seed husk biochar for removing copper ions from wastewater: a comparative study. *Soil & Water Res.* [en línea]. Ago. 2016, n^o 11. [Fecha de consulta: 5 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/274/2014-SWR>

SANDOVAL, Joselyn. Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor* L) en la remoción de cadmio en aguas residuales. Tesis. Ingeniero Ambiental. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019. Disponible en: http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3256/UNFV_SANDOVAL_VILCHEZ_JOSELYN_DANIELA_TITULO_PROFESIONAL_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAMANT, R. & GURAV, V. A Biosorption of Heavy Metal Ions from effluent using Waste Fish Scale. *Asian Journal of Research in Chemistry* [en línea]. Sept-Oct 2018. N^o 5. [Fecha de consulta: 4 de junio de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/eb3888db0e0f74bdcc25ba97d003767a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1096446>

SINGH, S. y SHUKLA, S. Adsorptive removal of cobalt ions on raw and alkali-treated lemon peels. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental.* [en línea]. Enero de 2016, n^o 1. [Fecha de consulta: 04 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.bioline.org.br/pdf?st16016>

TAMAY, Andrea. Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (*Ananas Comosus*) para la remoción de metales pesados como el cromo y el plomo presentes en el agua. Tesis. Ingeniería Biotecnológica de Recursos Naturales. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2019. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17182/1/UPS-CT008215.pdf>

TEJADA, Candelaria, HERRERA, Adriana, y NÚÑEZ, Juan. Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica [en línea]. Enero-Julio 2016, n ° 19. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a20.pdf>

TEJADA, Candelaria et al. Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de naranja y bagazo de palma en sistema continuo. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea]. Abril 2018, n ° 1. [Fecha de consulta: 05 de marzo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612018000100052&script=sci_abstract&tlng=en

THE NEWCASTLE-OTTAWA SCALE (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses, by Wells B.A. [et al.]. The Ottawa Hospital Research Institute, 2019. [en línea]. Disponible en: http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp

VARGAS, Karen. Evaluación de un adsorbente natural a partir de residuos de cáscara de mandarina para la adsorción de mercurio de aguas residuales artificiales. Tesis. Ingeniería química. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2019. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8123/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VIZCAÍNO, Lissette y FUENTES, Natalia. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. Ciencia e Ingeniería Neogranadina [en línea]. Diciembre 2015. [Fecha de consulta: 2 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf>

YRIGOIN, Karina. Eficiencia de la pectin de cáscara de naranja para disminuir la concentración de arsénico en aguas de Mórrope. Tesis. Ingeniería Ambiental. Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en:

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/35105/Yrigoin_VKJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Operacionalización

Título: Biomásas residuales en la mitigación de la polución por metales pesados en cuerpos naturales de agua. Revisión sistemática y metanálisis.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD/ ESCALA
Variable Independiente: Biomásas Residuales	Es la fracción biodegradable proveniente de los restos generados por las actividades de desarrollo humano. (Centro Tecnológico Agrario y Alimentario, 2012)	Son aquellos residuos biodegradables derivados de las actividades del hombre y que pueden emplearse a sí mismas para remover metales pesados en cuerpos de agua natural, a través de sus propiedades físico-químicas.	Tipos	Agrícola	Nominal
				Microbiana	
				Pectina	
				Forestal	
				Algal	
				Residuos Industriales	
			Propiedades	Residuos sólidos urbanos	Ordinal
				pH (0-14)	
				Temperatura (°C)	
				Enfrentamiento (rpm)	
Variable Dependiente: Mitigación de la Polución por metales pesados	Consiste en la aplicación de un proceso al recurso y transcurrir el metal de su fase líquida (inicial), a una fase sólida para permitir la facilidad de su recuperación o en el estado de oxidación para pasar de un estado tóxico a uno menor (Algarra, 2015).	Son aquellos mecanismos que permiten a través de sus procesos mitigar la polución causada por metales pesados en los cuerpos naturales de agua, generalmente, causada por su alta concentración.	Metales Pesados	Arsénico (As)	Nominal
				Cadmio (Cd)	
				Cobalto (Co)	
				Cromo (Cr)	
				Cobre (Cu)	
				Mercurio (Hg)	
				Magnesio (Mg)	
				Manganeso (Mn)	
				Níquel (Ni)	
				Plomo (Pb)	
			Zinc (Zn)		
			Mecanismos	Biosorción	Nominal
				Bioacumulación	
				Bioadsorción	
Concentración	Concentración inicial (%)	Ordinal			
	Concentración final (%)				
Mitigación	Nivel Bajo (10-40), Medio (41-70), Alto (71-100)				

Anexo 2: Ficha de Registro



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Autor(es): Evelyn, Cruz y Jiménez Katy
Título de investigación: Biomásas Residuales en la Mitigación de la Polución por Metales Pesados en Cuerpos Naturales de Agua.
Línea de Investigación: Tratamiento y gestión de residuos

Ficha de Registro

Nº	Autor	Tipo de publicación	Nombre	Base de Datos	Título	Palabras Claves
1	Abideen, et al. (2013)	Revista	Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences	EBSCO	Parámetros de cinética y equilibrio de biosorción y bioacumulación de iones de plomo de soluciones acuosas por <i>Trichoderma Longibrachiatum</i> .	Bioaccumulation, <i>Trichoderma longibrachiatum</i> , Balance, Kinetics and Langmuir isotherm
2	Abraham & Foster (2020)	Revista	Journal of Chemistry	Proquest	Estudios de biosorción de Cd y Cr a partir de solución acuosa usando hojas de nuez de cola como biosorbente de bajo costo	Biosorption, heavy metals, walnut leaves
3	Albis, Cajar y Domínguez (2017)	Revista	Prospect	Scielo	Análisis cinético de la Adsorción de Cr (VI) en soluciones acuosas a concentraciones de 10-20 mg/L con el uso de cáscara de yuca amarga (<i>Manihot esculenta</i>)	Adsorción; Cromo hexavalente Cr(VI); Cáscara de yuca; Cinética de adsorción; Modelos cinéticos.
4	Bangaraiah & Babu (2017).	Revista	Journal of Pharmaceutical Sciences and Research	Proquest	Biosorción y cinética del plomo usando <i>Tamarindus Indica</i>	Biosorption, heavy metals, <i>Tamarindus indica</i> , and adsorption isotherms
5	Bansod & Nandkar (2016)	Revista	Plant Science Today	EBSCO	Biosorción de Mn (II) por <i>Spirogyra verrucosa</i> recolectada del agua de la mina de manganeso.	AMD; Green alga; <i>Spirogyra verrucosa</i> ; Manganese(II); Biosorption; Kinetics; Isotherm modeling
6	Ccencho (2018)	Tesis	Repositorio Universidad César Vallejo	Google Scholar	Uso de biomasa seca (cáscara de plátano) como bioadsorbente de Arsénico en agua subterránea, Cruz del Médano, Mórrope, Lambayeque, a nivel laboratorio - 2018.	Biomasa, cáscara de plátano, arsénico, bioadsorbente.
7	Chacaltana, G. (2018)	Tesis	Repositorio Universidad César Vallejo	Google Scholar	Uso de borra de café como bioadsorbente para la remoción de Cadmio y Plomo disuelto en el agua del río Añasmayo sector la Perla- Huaral, 2018.	Bioadsorbente, remoción, eficiencia, borra de café
8	Dávila et al. (2015)	Revista	Latin American Journal of Science Education	LAJSE	Estudio de la bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) usando como biomasa a <i>Escherichia Coli</i> aislada de las aguas contaminadas del Río Huatanay de la ciudad del Cusco	Bioadsorción, Pb(II), Cd(II), absorción atómica, Isoterma, Langmuir, Freundlich
9	Decker (2013)	Revista	Civil and Environmental Research	EBSCO	Biosorción de metales pesados a partir de soluciones acuosas utilizando jacinto de agua como biosorbente de bajo costo	Biosorption, low cost biosorbent, wastewater treatment, heavy metal
10	Del Carpio (2017)	Tesis	Repositorio Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	Google Scholar	Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos "Limón y Toronja" para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas.	Cáscaras de toronja, cáscaras de limón, Biosorción, reticulación, metales pesados, cinética de biosorción.

11	Espinoza y Marshall (2016)	Tesis	Repositorio Universidad de Guayaquil	Google Scholar	Factores de mayor influencia en la adsorción de metales pesados por biomasa seca de <i>Kluyveromyces Marxianus</i> CCEBI 2011	Bioadsorción; <i>Kluyveromyces marxianus</i> ; metales pesados; Laguna Azul del Cobre.
12	Fernández, et al. (2018)	Revista	Vicented	REDALYC	Estudio de la Bioadsorción de Cadmio y Plomo con Biomasa de <i>Serratia Marcescens</i> M8a-2T, a Nivel de Laboratorio	Bioadsorción, biomasa, cadmio, optimización, plomo
13	Gautam, et al. (2012)	Revista	Nature, Environment and Pollution Technology	Proquest	Biosorción de plomo (II) a partir de solución acuosa por <i>Agaricus bisporus</i> (Champiñon Común)	Bioabsorption Lead (II) <i>Agaricus bisporus</i> Langmuir isotherm Freundlich isotherm
14	Gutiérrez (2015)	Tesis	Repositorio Universidad Nacional Mayor San Marcos	Google Scholar	Biosorción de metales pesados en cáscara de Citrus máxima, cáscara de maracuyá y bagazo de caña de azúcar en una columna de lecho fijo.	Biosorción, ionización, metales pesados, cáscaras de limón, maracuyá y bagazo de caña de azúcar.
15	Huan, et al. (2014)	Revista	Elsevier	EBSCO	Biosorción de metales pesados en cáscara de Citrus máxima, cáscara de maracuyá y bagazo de caña de azúcar en una columna de lecho fijo	Residuo de maracuyá, arsenato, arsenito.
16	Kiorva, et al. (2015)	Revista	Biotechnology and biotechnological equipment;	Proquest	Biosorción de iones Pb (II) a partir de soluciones acuosas por biomasa residual de <i>Streptomyces fradiae</i> pretratada con NaOH. Biotecnología y equipos biotecnológicos	Bioporsion; toxic metals, <i>Streptomyces</i> ; isotherm, kinetics.
17	Lazarte, et al. (2019)	Tesis	Repositorio Universidad César Vallejo	Google Scholar	"Eficiencia de cuatro biomásas de <i>Eichhornia Crassipes</i> en la remoción de cadmio en aguas residuales del tragadero Yacuchingana – Cajamarca"	Biomásas, <i>Eichhornia crassipes</i> , remoción de cadmio
18	Maza, et al. (2017)	Tesis	Repositorio Universidad Técnica de Machala	Google Scholar	Biosorción de arsénico con biomásas derivadas de las cáscaras de banano, arroz y coco en aguas excedentes de plantas de beneficio	Biosorción, biomasa, arsénico, aguas excedentes, metales pesados.
19	Mihăiescu, et al. (2016)	Revista	PR Environment Promediu	Proquest	Evaluación de la biosorción de cobre y plomo de soluciones acuosas por levadura de cerveza	Biosorption, Brewery Yeast, Heavy Metal, Adsorption Capacity.
20	Miranda (2017)	Tesis	Universidad Nacional del Altiplano	RENATI	Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (<i>Globulus labillii</i>)	Biosorbente, Cromo Cr (VI), Hojas de Eucalipto, Isotermas y Proceso discontinuo Batch.
21	Ordoñez (2017)	Tesis	Universidad Politécnica de Salesiana Sede Cuenca	Google Scholar	"Determinación de la capacidad adsorbente de los residuos de la industria de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) para remoción de metales pesados en aguas contaminadas"	Biotecnología, contaminación del agua, metales pesados, adsorción, papas (tubérculos), biomasa.
22	Penedo, et al. (2015)	Revista	Tecnología Química	Scielo	"Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco"	Adsorción, níquel, cobalto, carbón activado, cáscara de coco.
23	Pilco y Viera (2014)	Tesis	Universidad Central del Ecuador,	Dspace	"Determinación de la eficiencia de biorremoción de metales pesados con cianobacteria <i>Nostoc</i> spp., de los páramos andinos: Papallacta, Pintag y Guamote; caso: efluente de curtiembre, Totoras-Ambato"	Cianobacteria, efluente, biorremoción, biosorción, metales pesados
24	Quiñones et al. (2013)	Revista	Actualidad y Divulgación Científica	Scielo	Remoción de Plomo y Níquel en Soluciones Acuosas Usando Biomásas Lignocelulósicas: Una Revisión.	Adsorción, bioadsorbente, ion metálico.
25	Rajamohan (2014)	Revista	International Journal of Chemical Engineering and Applications	EBSCO	Biosorción de mercurio en desechos de cascarón de pistacho protonado - Efecto de variables y experimentos cinéticos,	Absorbent, metal removal, pistachio shell residue
26	Rámirez y Enríquez (2015)	Revista	Acta Gastronómica	Scielo	"Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del pseudo tallo de plátano"	Adsorción, plomo, licor residual, lignina, seudotallo de plátano.
27	Rodríguez, et al. (2017)	Revista	Avances en Ciencia e Ingeniería	REDALYC	"Bioadsorción de Cromo (vi) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (<i>amaranthus caudatus</i>)"	Metales pesados, aguas residuales, bioadsorbentes biológicos, remoción
28	Saleh, et al. (2018)	Revista	Soil & Water Res	EBSCO	Eficacia del biochar de cáscara de semilla de girasol para eliminar iones de cobre de las aguas residuales: un estudio comparativo	adsorption kinetics; biosorbents; charcoal; heavy metals; sunflower biochar; water treatment
29	Saman & Gurav (2018)	Revista	Asian Journal of Research in Chemistry	Proquest	Una biosorción de iones de metales pesados a partir de efluentes usando la escala de pescado residual	biosorption, heavy metal, ions, effluents, residual fish scale.

30	Sandoval (2019)	Tesis	Repositorio Institucional Universidad Nacional Federico Villarreal	Google Scholar	"Eficiencia del Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemna minor L) en la remoción de cadmio en aguas residuales"	cadmio, bioacumulación, fitorremediación, macrófitas, Eichhornia crassipes., Lemna minor L.
31	Singh y Shukla (2016)	Revista	International Journal of Environmental Science and Technology	Bioline	"Adsorptive removal of cobalt ions on raw and alkali-treated"	Biosorción, cobre, cáscaras de limón, iones de cobalto
32	Sufyan, et al. (2014)	Revista	Baghdad Science Journal	EBSCO	Hojas de lechuga como material biosorbente para eliminar iones de metales pesados de aguas residuales industriales	Lettuce leaves, biosorption, lead, copper, zinc, FTIR
33	Tamay (2019)	Revista	Ingeniería Biotecnológica de Recursos Naturales	Dspace	"Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (Ananas Comosus) para la remoción de metales pesados como el cromo y el plomo presentes en el agua"	Biosorción, desorción, residuo orgánico, corona de piña, metales pesados.
34	Tayyaba, et al. (2016)	Revista	Toxicol Ind Health	Pubmed	Biosorción de metales pesados por especies de Pseudomonas aisladas de la industria azucarera	Bacteria; biosorption; characterization; effluents; environment; pollution.
35	Tejada et al. (2016)	Revista	Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica	Scielo	"Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (Citrus Sinensis) y zuro de maíz (Zea Mays)"	Adsorción, efluentes, residuos agroindustriales.
36	Tejada, et al. (2018)	Revista	Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial	Scielo	"Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre Husk yam y Bagasse de palma en sistema continuo"	Bagaso de palma, cascara de ñame, desorción.
37	Vargas (2019)	Tesis	Repositorio Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano,	Google Scholar	"Evaluación de un adsorbente natural a partir de residuos de cáscara de mandarina para la adsorción de mercurio de aguas residuales artificiales"	Adsorción, ionización, cascara de mandarina, modificación química y mercurio
38	Vera, et al. (2016)	Revista	Afinidad	Raco	"Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras"	Biosorción, metales pesados, bagazo de caña de azúcar, moscarpo de coco, mazorca de maíz.
39	Vizcaino y Fuentes (2015)	Revista	Ciencia e Ingeniería Neogranadina	Scielo	Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna.	Biosorción, Cadmio, plomo, Zinc, algas rojas, cáscaras de naranja y tuna.
40	Yrigoin (2019)	Tesis	Repositorio Universidad César Vallejo	RENATI	"Eficiencia de la pectina de cáscara de naranja para disminuir la concentración de arsénico en aguas de Mórrope"	Pectina, cáscara de naranja, arsénico, Morrope