



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en
aguas residuales mediante *Azolla (Azolla filiculoides)* y Jacinto de
agua (*Eichhornia crassipes*)

AUTOR:

Guevara Abanto, Junior Ramiro (ORCID: 0000-0002-2521-051X)

ASESOR:

MSc. Ordóñez Sánchez, Luis Alberto (ORCID: 0000-0003-3860-4224)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los recursos naturales

TARAPOTO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios y mi madre, que ha sido mi impulso para poder continuar con mis estudios, siendo una mujer llena de fe y fortaleza.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a los docentes y asesores que me acompañaron en este proceso formativo, brindándome su ejemplo, sabiduría y oportunidades, siendo personas ilustres que desempeñaron su rol con decoro. Así como a la universidad, que me permitió tener el acceso a una educación de calidad.

Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.1.1. Tipo de Investigación	14
3.1.2. Diseño de Investigación	14
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	14
3.3. Escenario de estudio:	15
3.4. Participantes.....	15
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.6. Procedimiento.....	16
3.7. Rigor científico.....	19
3.8. Método de análisis de datos	19
3.9. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales que influyen en la fitorremediación de Cd	20

4.2. Condiciones de crecimiento de Azolla y Jacinto de agua para la fitorremediación de cadmio.....	23
4.3. Tiempo de fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (azolla filiculoides) y Jacinto de agua (eichhornia crassipes).	24
4.4. Discusión:	25
V. CONCLUSIONES	27
VI. RECOMENDACIONES	28
REFERENCIAS	29
ANEXOS.....	36

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de estrategias de fitorremediación empleadas para tratar contaminación por metales pesados.	10
Tabla 2. Criterios de búsqueda empleados para la selección de los artículos a analizar.	17
Tabla 3. Algunos parámetros fisicoquímicos que afectan la fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd.	21
Tabla 4. Influencia de las características del agua residual en el proceso de remediación con <i>Eichhornia crassipes</i>	22
Tabla 5: Condiciones de crecimiento de la <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	23
Tabla 6: Tiempo de fitorremediación del <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	24
Tabla 7: Matriz de operabilización.	40
Tabla 8. Algunas condiciones para el crecimiento de las plantas acuáticas <i>Azolla</i> y <i>Jacinto de Agua</i>	42
Tabla 9. Procesos y condiciones que dirigen la remoción de Cd.	43

Índice de Figuras

Figura 1. Procesos de biorremediación que pueden ocurrir en la recuperación de aguas y suelos contaminados con Cd.	11
Figura 2. Esquema del procedimiento seguido para la selección de los artículos a analizar en la revisión sistemática.	18
Figura 3. Concentración de Cd en la biomasa de la planta Jacinto de agua en base seca en función al contenido de Cd en solución.	23

RESUMEN

El vertimiento de aguas residuales se vuelve un panorama común en nuestro país; por tal motivo el tratamiento de aguas residuales se hace cada día más importante con la finalidad de reducir la carga contaminante de las aguas, el de emplear nuevas tecnologías que nos permitan obtener sub productos propios de procesos de depuración de aguas que sean económicamente aprovechables. Los aspectos más relevantes que se concluyó de la investigación son que la fitorremediación de aguas residuales que contienen Cd mediante el empleo de Jacinto de agua y Azolla, ocurre preferiblemente mediante rizofiltración y fitoextracción. El tiempo que se requiere para alcanzar una eficiencia adecuada de descontaminación, está en función al volumen de agua a remediar. Para grandes volúmenes, hasta 60 días son necesarios, pero para poca muestra, una semana puede ser apropiado para alcanzar los resultados esperados. Se observó, que tanto el Jacinto de agua como la Azolla se adaptaron a una diversidad de condiciones experimentales, sin embargo, la Azolla es más sensible a la concentración de Cd y al pH del medio. También se concluyó que los datos demuestran que las plantas por si sola pueden remover el metal y que no fue necesario la incorporación de nutrientes para el desarrollo de las plantas. Respecto al tiempo para remover el Cd del medio acuoso por el Jacinto de agua y la Azolla dependerá tanto del volumen de agua residual a tratar, así como de la complejidad de la muestra a tratar. En la investigación realizada demuestra que porcentajes de remoción 90% sostienen la idea de que usar plantas de Jacinto de agua y Azolla para descontaminar aguas constituyen una buena estrategia.

Palabras clave: fitorremediación, cadmio, Azolla, rizofiltración, jacinto de agua.

ABSTRACT

The discharge of residual waters becomes a common panorama in our country; For this reason, wastewater treatment is becoming increasingly important in order to reduce the pollutant load of water, to use new technologies that allow us to obtain by-products of water purification processes that are economically usable. The most relevant aspects that were concluded from the research are that the phytoremediation of wastewater containing Cd through the use of water hyacinth and Azolla, preferably occurs through rhizofiltration and phytoextraction. The time required to achieve adequate decontamination efficiency is a function of the volume of water to be remediated. For large volumes, up to 60 days are necessary, but for a small sample, a week may be appropriate to achieve the expected results. It was observed that both the water hyacinth and the Azolla were adapted to a variety of experimental conditions, however, the Azolla is more sensitive to the concentration of Cd and the pH of the medium. It was also concluded that the data show that the plants alone can remove the metal and that the incorporation of nutrients was not necessary for the development of the plants. Regarding the time to remove the Cd from the aqueous medium by the water hyacinth and the Azolla, it will depend both on the volume of residual water to be treated, as well as on the complexity of the sample to be treated. The research carried out shows that removal percentages 90% support the idea that using water hyacinth and Azolla plants to decontaminate waters constitute a good strategy.

Keywords: phytoremediation, cadmium, Azolla, rhizofiltration, water hyacinth.

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades relacionadas con la extracción de metales de las menas, la fabricación, la industrialización y el uso de productos sintéticos han provocado la contaminación por metales pesados como el cadmio (Cd), mercurio (Hg) y el plomo (Pb), en todos los segmentos del medio ambiente, y debido a su no biodegradabilidad, es muy difícil eliminar estos metales del medio ambiente (Gautam et al. 2016, pp. 1). Por lo tanto, algunas fuentes antropogénicas de metales pesados son reportadas son los efluentes industriales, agrícolas y domésticos, así como las fuentes atmosféricas (Li et al., 2018).

La contaminación con Cd proviene principalmente de fuentes geogénicas, actividades antropogénicas, fundición y refinado de metales, quema de combustibles fósiles, aplicación de fertilizantes fosfatados y lodos de depuradora (Li et al., 2019). Por ello, la contaminación por cadmio es persistente e irreversible, y no sólo degrada la calidad de las masas de agua, la atmósfera y los cultivos alimentarios, sino que también supone una gran amenaza para la salud y el bienestar de los organismos y los seres humanos por su acumulación en la cadena alimentaria (Li et al., 2019, pp. 1).

Las principales fuentes de Cd en el aire son las partículas de polvo, las erupciones volcánicas, los incendios forestales y las actividades industriales con Cd. Las principales fuentes de exposición humana por inhalación son el humo de los cigarrillos y los impactos laborales (Suvarapu y Baek, 2017, pp. 88), así como también por ingestión de aguas y alimentos contaminados con este metal pesado (Genchi, Sinicropi, Lauria, Carocci y Catalano, 2017, pp. 1). Adicionalmente, el Cd puede ser acumulado por animales y plantas, y de esta manera ingresar a las cadenas tróficas, magnificando los efectos tóxicos del contaminante a todo el ecosistema, y por supuesto al hombre (Suvarapu y Baek, 2017, pp. 79). Por este motivo, la contaminación con Cd es un problema de interés general para la sociedad, ya que este metal pesado no tiene ninguna función biológica conocida, y los efectos tóxicos por exposición a este

metal pueden derivar en varios tipos de cáncer, osteoporosis, junto con daños al hígado y riñones (Genchi et al. 2017, pp. 1), y desde el punto de vista metabólico la formación de especies reactivas de oxígeno (Fu y Xi, 2019, pp. 167) y daños al sistema nervioso central (Rehman, Fátima, Waheed y Hamid Akash, 2018, pp. 161).

Por otro lado, la presencia de Cd en aguas residuales proviene principalmente de fuente industriales y domésticas, trasladando al metal pesado a través de áreas más extensas, pudiendo contaminar las aguas subterráneas o afectar cultivos si se emplean estas aguas residuales para riego. La preocupación por la incorporación de Cd en partes comestibles de cultivos regados con aguas residuales, ha llevado a estudiar la bioconcentración en cultivos de interés como el trigo (Rezapour et al. 2019, pp. 579). En cultivos estratégicos para Latinoamérica como el cacao, Chávez et al. (2015) reportó concentraciones de Cd promedio en la almendra de cacao de $0,94 \text{ mg Kg}^{-1}$, y se correlacionó con fracciones de Cd presente en el suelo (pp. 205). En Perú, también se están realizando esfuerzos para establecer la realidad de la contaminación por Cd, tanto en suelos, sedimentos, ríos, plantas y peces. En sedimentos superficiales del río Coata, se determinaron contenidos de Cd por debajo de $1,4 \text{ mg Kg}^{-1}$, máximo permitido por el Ministerio del Ambiente de Perú (Quispe Yana et al. 2019, pp. 86). En muestras de jurel proveniente del Terminal Pesquero de Villa María del Triunfo, en Lima, se determinaron contenidos de Cd ($0,42 \text{ mg/Kg}$ en peso fresco) que superan los máximos permitidos de Cd para este alimento ($0,05 \text{ mg/kg}$ peso fresco) por Reglamentos de la Unión Europea (Marín y García, 2016, pp. 24). Por último, merece la pena destacar la investigación realizada por Tantalean y Huauya (2017) quienes determinaron Cd en dos tipos de suelo y en diversos tejidos de cacao en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana, localizados en los Departamentos de Huánuco y San Martín, reportaron un contenido de Cd en la almendra de cacao de $1,80 \text{ ppm}$, para plantaciones que crecen en suelo aluvial. La presencia de Cd en la almendra de cacao es una alerta para los grandes fabricantes de chocolate localizados en Estados Unidos y Europa. Los resultados encontrados relativos al contenido de Cd para

distintas muestras y varias localidades en Perú, muestran el impacto por la contaminación por este metal pesado, y la necesidad de contar con mecanismos que permitan controlar la emisión y la dispersión del contaminante, siendo las aguas residuales uno de los principales objetivos a depurar, para prevenir que dispersen la contaminación con Cd.

La remoción de metales pesados se puede realizar empleando mecanismos físicos, químicos y biológicos, tales como la extracción líquido-líquido, precipitación, adsorción, intercambio iónico, bioadsorción, entre otros (Rajumon, Aravind, Bhuvaneshwari, Ranjitha y Mohanraj, 2020, pp. 1431). Cada uno de estos mecanismos ofrece ventajas, desventajas e implicaciones económicas a considerar, pero la mejor opción siempre será la menos costosa, fácil de implementar y ambientalmente amigable. La biorremediación, la cual consiste en el empleo de organismos vivos (principalmente microorganismos y plantas) para la recuperación de espacios contaminados con metales pesados, ha mostrado ser eficiente, a costos adecuados y amigable con el ambiente (Rahman y Singh, 2020, pp. 1). En particular, cuando se usan plantas, se habla de fitorremediación y los mecanismos asociados al uso de plantas son variados, siendo posibles la fitoextracción, rizofiltración o fitovolatilización para la recuperación de espacios contaminados con metales pesados (Kanwar, Sharma, Srivastav y Rani, 2020, pp. 1). Dada las ventajas que ofrece la fitorremediación y su eficiencia para remover metales pesados del agua, en este trabajo se quiere abordar el comportamiento de la Azolla y Jacinto de agua para solucionar problemas asociados a la presencia de cadmio en aguas, ya que estas plantas acuáticas son de fácil cultivo y cuidado y pueden crecer en las aguas residuales, mientras disminuyen la concentración de Cd en el medio hídrico.

Sobre la base de la realidad problemática presentada se plantea el siguiente problema general: **¿Cuáles son los aspectos más relevantes para la fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cadmio mediante Azolla (*Azolla filliculoides*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)?**, de igual forma se plantean los siguientes

problemas específicos: **¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nivel de nutrientes, entre otros) de aguas residuales que influyen en la remoción de Cd?, ¿Cuáles son las condiciones de crecimiento de la Azolla y Jacinto de agua para la remoción de Cd?, y ¿Cuáles son los parámetros que determinan el tiempo de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd, por la Azolla y el Jacinto de agua?**

Desde el punto de vista teórico, la realización de esta revisión sistemática de la literatura se justifica por la necesidad de agrupar en un solo constructo, los diferentes aportes teóricos y experimentales, que ayuden a entender mejor los procesos subyacentes en la remoción de Cd por la Azolla y Jacinto de agua, proporcionando de esta manera una base teórica que sustente nuevos experimentos y mejoren la eficiencia de remoción del metal pesado. Desde el punto de vista práctico esta investigación se justifica, al proveer en un solo documento información útil que orienten la práctica de la fitorremediación empleando plantas acuáticas, por parte de los interesados en recuperar aguas residuales contaminadas con Cd. Por último, desde el punto de vista metodológico, contribuirá con el aporte de algoritmos de búsqueda que orienten la investigación documental, permitiendo establecer procedimientos de búsqueda en las bases de datos, con el propósito de localizar lo escrito en la literatura científica en los últimos 5 años sobre la fitorremediación de Cd por Azolla y Jacinto de Agua y el posterior análisis crítico de la información encontrada.

En el contexto de esta investigación se plantea como objetivo general: **indagar cómo es la fitorremediación de Cd en aguas residuales mediante Azolla (*Azolla filliculoides*) y Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*)**. Para entender los mecanismos subyacentes en la fitorremediación empleando estas dos plantas acuáticas, se plantean como objetivos específicos: (1) **Conocer los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nivel de nutrientes, entre otros) de las aguas residuales que influyen en la remoción de Cd,** (2) **Describir las condiciones de crecimiento de la**

Azolla y el Jacinto de agua para la remoción de Cd, (3) Conocer los parámetros que determinan el tiempo de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd, empleando las plantas acuáticas Azolla y el Jacinto de agua.

II. MARCO TEÓRICO

La literatura científica existente en relación al empleo de plantas terrestres y macrófitas para biorremediación de suelos y aguas contaminadas (sean residenciales o efluentes industriales) es bastante amplia, por lo cual solo se destacarán como antecedentes de la investigación en este apartado algunos de ellos, tanto en el ámbito internacional como en el ámbito nacional.

Al-Abbawy, Al-Thahaibawi, Al-Mayaly y Younis (2021) determinaron el contenido de Cd en *Azolla filiculoides* que crecen en el pantano de Al-Hawizeh, el cual se encuentra ubicado al este del río Tigris, entre la frontera de Irán e Irak y reportaron que el contenido de Cd en la planta (en base a peso seco) estaba entre 0,16 mgKg⁻¹ (en invierno, y la concentración de Cd en solución era 0,0002 mgL⁻¹) y 0,61 mgKg⁻¹ (en verano, y la concentración de Cd en solución era 0,0009 mgL⁻¹). El factor de bioconcentración (BCF, definido como la relación de la [Cd]planta en mgKg⁻¹/ [Cd]agua en mgL⁻¹) que reportaron estuvo entre 187,7 (en primavera) y 722,2 (en invierno). Este trabajo es relevante, porque sugiere que la *A. filiculoides* no solo puede remover Cd, sino que puede actuar como bioindicador de contaminación con Cd.

Para el caso del Jacinto de agua, Alhaji et al. (2021) encontraron que la planta puede tolerar concentraciones de Cd en solución hasta 5 mgL⁻¹, de pH ajustado a 6 en solución nutritiva y durante 15 días. Para las concentraciones de Cd en solución evaluadas por Alhaji et al. (2021), las cuales fueron 1, 3 y 5 mgL⁻¹ de Cd, el factor de transferencia se ubicó en 0,06: 0,13 y 0,24 respectivamente, lo que indica que la planta de Jacinto de agua, retiene el metal preferiblemente en las raíces. En contraste con este trabajo, Nazir, Idrees, Danish, Ahmad, Ali y Malik (2020) determinaron que el contenido de Cd absorbido por el Jacinto de agua estaba relacionado con el contenido de Cd en muestras de aguas residuales reales. De esta manera, para concentraciones de Cd en la muestra de agua residual de 30,25 y 177,25 mgL⁻¹, el Jacinto de agua absorbe 29,25 y 166,25 mg de Cd por Kg de biomasa, respectivamente. Estos antecedentes son relevantes

porque muestran la tolerancia del Jacinto de agua al Cd y su potencial uso como bioindicador y biorremediador de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

Bravo (2017) reportó que la *Eichhornia crassipes* toleró concentraciones de Cd en el medio acuoso de hasta 2 mgL⁻¹, y no observó disminución en la producción de biomasa por parte de la planta. Adicionalmente indicó que la *E. crassipes* fue capaz de remover el 100% de Cd en nueve días de tratamiento, partiendo de una concentración inicial del metal de 0,25 mgL⁻¹ y que este porcentaje se reduce a 76,4% cuando la concentración inicial del metal es 2 mgL⁻¹ y en el mismo tiempo. Para finalizar, también reportó valores del factor de bioconcentración y del factor de transferencia (TF, definido como la relación de la [Cd]tallo en mgKg⁻¹/ [Cd]raíz en mgKg⁻¹) de Cd para el jacinto de agua, estando estos entre 0,66-39,52 y 0,17-1,85, respectivamente.

En su trabajo de investigación de Pernía et al. (2016) quien aplicó *Azolla sp.* presenta baja tolerancia al Cd, aún a concentraciones del metal en solución de 0,25 mgL⁻¹, donde ya observaron una disminución en la biomasa producida por la planta. La remoción de Cd por parte de la *Azolla sp.* fue del 46,33% a una concentración inicial de Cd de 0,25 mgL⁻¹ (7 días de tratamiento) y de 0% a una concentración inicial de Cd de 2 mgL⁻¹. Estos dos trabajos son relevantes para esta investigación, porque muestran el comportamiento de la planta frente al metal y la eficiencia de la planta para bioconcentrar al Cd.

Por ello, el autor Calderón (2017) quién determinó el grado de bioconcentración de Cd con la planta metalofita Jacinto de agua en muestras de agua del Lago Valle Hermoso (Ecuador). El pH del agua del lago estaba alrededor de 8,2 y la concentración de Cd alrededor de 0,04 mgL⁻¹, El factor de bioconcentración fue menor que 1, sugiriendo que, para este sistema, el jacinto de agua absorbió pocas cantidades del metal pesado.

En el ámbito Nacional esta tecnología de biodegradación a través de plantas metalofitas, ya fueron aplicadas. Por lo que, estas investigaciones no se incluye el Cd, se estudian metales con los que este metal está correlacionado y se tienen las condiciones que describen el crecimiento de la Azolla y el Jacinto de agua, que son de interés en esta investigación. De esta manera, se tienen los trabajos de Pérez (2017) con Hg; Huaraca y Lujan (2020) con metales pesados; Flores, Rojas y Suyón (2019) con As; y Sandoval (2019) con Cd.

Pérez (2017) estableció que la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* puede descontaminar una muestra de agua contaminada artificialmente con Hg, y que puede remover concentraciones de Hg^{2+} de hasta 3 mgL^{-1} . Dado que las muestras de aguas residuales reales son multicomponentes, este trabajo es interesante, ya que muestra la tolerancia del Jacinto de agua a este metal pesado. En el caso de que la muestra de agua, además de Cd, contenga Hg, se pueden eliminar simultáneamente.

En su trabajo de investigación de los autores, Flores, Rojas y Suyón (2019) demostraron que era posible descontaminar cuerpos de agua contaminados con As, empleando como planta para la fitorremediación el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Partiendo de muestras de agua contaminadas con $0,047 \text{ mgL}^{-1}$ de As (no se indica que especie de As), se puede remover hasta el 60% de este metaloide de la solución. Este trabajo se considera relevante para esta investigación, ya que muestra la versatilidad para el Jacinto de agua para remover además de metales, metaloides como el As de los cuerpos de agua.

Por ende, se realizó trabajos investigaciones de revisiones sistemáticas muy generales sobre el rol de las plantas hiperacumuladoras para la remoción de metales pesados. En este sentido, puede mencionarse la revisión sistemática realizada por Huaraca y Lujan (2020), quienes encontraron suficiente evidencia en la literatura para sustentar la idea de que la *Eichhornia crassipes* remueve con éxito el Cd del agua, asimismo mientras mayor sea la cantidad de *Azolla filiculoides* utilizada se removerá la mayor concentración de Cd. Este antecedente es importante, ya que da

pie a investigaciones más específicas al comportamiento de estas plantas con metales pesados tales como el Cd.

El autor Sandoval (2019), que determinó que el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) presenta una eficiencia de 83.57% en la remoción de Cd mientras que *Lemna minor L.* presenta eficiencia de 39.35%, siendo el principal cambio morfológico la variación de color de las especies durante el ensayo. Con ambas plantas, la concentración inicial del metal en solución fue de 2 mgL⁻¹, con un pH cercano a la neutralidad y una duración del tratamiento de 11 días.

La contaminación ambiental con metales pesados como el As, Cd, Cr, Pb y Hg se atribuye principalmente a las actividades antrópicas, y su dispersión en el ambiente conlleva un riesgo para los seres vivos, debido a los efectos tóxicos que tienen, incluyendo el hombre (RoyChowdhury, Datta y Sarkar, 2018, pp. 359-360). Para el caso del Cd, está presente de forma natural en una concentración menor, pero las actividades antropogénicas han incrementado su nivel de forma significativa a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los revestimientos de Cd se utilizan en embarcaciones y otros vehículos para prevenir la corrosión (RoyChowdhury et al. 2018, pp. 361). El Cd puede generar problemas de salud, como la enfermedad ósea, tos, enfisema, cefalea, hipertensión, enfermedades renales, cáncer de pulmón y próstata, linfocitosis, anemia hipocrómica microcítica, atrofia testicular, vómitos (Li et al. 2019, pp. 2)

Para tratar los problemas de contaminación, se han desarrollado las tecnologías de remediación, las cuales son un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tratan de reducir, eliminar, contener o transformar en un producto más benigno contaminantes presentes en suelos, sedimentos, agua y aire (Selvi et al. 2019). Para el caso de los metales pesados como el Cd, estos son persistentes por largos periodos de tiempo (Kumar et al., 2021, pp. 1) y solo pueden estabilizados o extraídos de la matriz que los contienen, con el propósito de disminuir su movilidad en el medio ambiente. La biorremediación es un enfoque biológico innovador e inventivo que explora el potencial de los microorganismos y las

plantas para reducir y remediar el suelo y las masas de agua de los productos químicos tóxicos (Mahey, Kumar, Sharma, Kumar y Bhardwaj, 2020, pp. 7). Cuando se emplean plantas para llevar a cabo el proceso de remediación, se habla de fitorremediación, y el uso de plantas y sus microorganismos asociados se pueden emplear para estabilizar, volatilizar o acumular metales pesados, permitiendo detoxificar los ambientes donde son aplicados (Wang et al., 2020, pp. 1). La Tabla 1 muestra los procesos que pueden ser empleados para la remoción de metales pesados como el Cd de aguas contaminadas, mediante fitorremediación. De estos procesos, solo la fitovolatilización no aplica al Cd, ya que el elemento no forma especies químicas con presión de vapor apreciable.

Tabla 1. Descripción de estrategias de fitorremediación empleadas para tratar contaminación por metales pesados.

Estrategia	Descripción
<i>Fitoextracción</i>	Absorción de contaminantes desde el suelo o agua y traslocación-acumulación en la biomasa aérea de la planta (Wang et al. 2020, pp. 4).
<i>Rizofiltración</i>	Remoción de contaminantes de aguas superficiales. El proceso puede ser por absorción o adsorción, disminuyendo la movilidad del contaminante (Mahey et al. 2020, pp. 7).
<i>Fitoestabilización</i>	Uso de ciertas plantas para la estabilización de contaminantes en el suelo. El proceso puede ocurrir mediante sorción en raíz, precipitación, complejación, o reacciones redox de metales en la rizósfera (Mahey et al. 2020, pp. 7).
<i>Fitovolatilización</i>	Absorción de contaminantes del suelo por la planta, su conversión a especies volátiles y posterior liberación a la atmósfera. Aplicable para elementos que forman especies volátiles como el Hg, Se, As (Wang et al. 2020, pp. 7).

Fuente: Elaboración propia

La Figura 1 ilustra los procesos de fitorremediación que pueden ocurrir en un sistema suelo-planta o agua-planta, donde el sustrato está contaminado con Cd. El primer proceso ocurre en la interfase raíz-sustrato y esta mediado por todos los intercambios que ocurren a nivel de la rizosfera, así como las propiedades fisicoquímicas del sustrato que pueden hacer más móvil o no al metal. Una vez que este ingresa a la planta, puede ser traslocado en forma iónica o como complejo a través de los fluidos de la planta hacia las zonas aéreas de la planta. Una vez que se ha establecido el proceso y se ha dejado el tiempo para que ocurra, lo siguiente puede ser la remoción de la planta y posterior tratamiento del residuo vegetal enriquecido con el metal extraído.

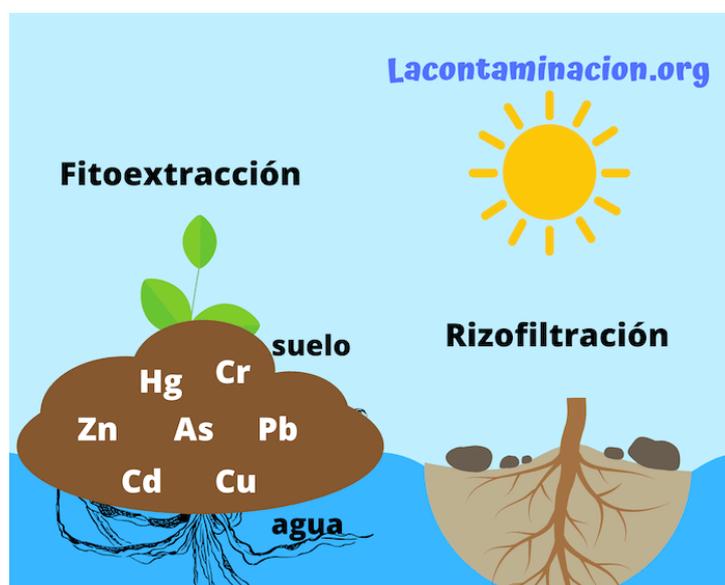


Figura 1. Procesos de biorremediación que pueden ocurrir en la recuperación de aguas y suelos contaminados con Cd.

Fuente: La contaminación, Alvarado C., 2019.

Hay algunos aspectos que se pueden destacar de la revisión de la literatura realizada por Anand, Bharti, S. Kumar, Barman y N. Kumar (2019) y por Obinna y Ebere (2019), sobre el empleo de la fitorremediación para el tratamiento de ambientes contaminados con metales pesados y compuestos orgánicos (tales como pesticidas). De acuerdo a la revisión realizada por Anand et al. (2019), el Jacinto de agua es una macrófita acuática de rápido crecimiento que puede duplicar su biomasa en pocos días y aunque por este comportamiento se le considera un problema, por otro lado, esta cualidad también la ha convertido en candidata para su uso en fitorremediación, ya que en muchos estudios se ha demostrado que el jacinto de agua tiene altas tasas de eliminación de varios metales pesados como Fe, Zn, Cu, Cr, Mn, Hg, Cd y As de soluciones acuosas (pp. 2). Por su parte, la Azolla puede hiperacumular una serie de contaminantes como metales pesados y pesticidas de los ecosistemas acuáticos y reúne varias características que demuestran que es una planta mejor para la fitorremediación, entre las que se encuentran su rápida tasa de crecimiento, su capacidad de fijación de nitrógeno y su fácil eliminación de biomasa (Anand et al. 2019, pp. 103).

Las pruebas realizadas en solución acuosa que contiene Cd, han permitido establecer algunos datos sobre la eficiencia en la remoción de este metal por el Jacinto de agua y la Azolla. En la revisión realizada por Obinna y Ebere (2019), para un intervalo de concentraciones iniciales de Cd entre 0.5-4 ppm, el Jacinto de agua tiene una eficiencia de remoción entre 50%-90%, mientras que para un intervalo de concentraciones iniciales de Cd entre 0-12.39 ppm, la Azolla alcanza porcentajes de remoción entre 72%-91% (pp. 18). Estas concentraciones iniciales de Cd son importantes, porque, aunque la planta puede tolerar ciertos niveles de toxicidad por los metales pesados, la presencia de estos en altas concentraciones, puede causar la muerte de la planta.

Esto ha sido mostrado en otras revisiones, como la de Sharma, Singh, y Manchanda (2015) sobre la fitorremediación y el papel de las plantas terrestres y macrófitas acuáticas en la rehabilitación de suelos y aguas

contaminados con radionucleidos como el ^{137}Cs y el ^{90}Sr y metales pesados. Para el caso particular del empleo de las plantas Azolla y Jacinto en aguas, estas se mostraron eficientes en la fitoextracción de Cd y Pb, además de que el Jacinto también adsorbe otros contaminantes como Zn, Cr, Cu, Ag y Ni. Para la remoción de radionucleidos altamente móviles, como el ^{137}Cs , la fitorremediación quizás sea la única solución. Mishra y Maiti (2017) realizaron una revisión sobre la eficiencia de jacinto de agua en la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales, demostrando que es una planta capaz de eliminar contaminantes, incluyendo iones metálicos tóxicos de cuerpos de agua poco profundos mediante un mecanismo de adsorción en la raíz (pp. 7921).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo básica, la cual se caracteriza por producir conocimiento y teorías, esta también recibe el nombre de pura porque en efecto no está interesada por un objetivo crematístico, su motivación es la simple curiosidad, el inmenso gozo de descubrir nuevos conocimientos, se dice que es básica por qué sirve de cimiento a la investigación aplicada o tecnológica y fundamental porque es esencial para el desarrollo de la ciencia (Ñaupas et al.,2018, pp. 134). En este sentido, se realizará una revisión sistemática para resumir estructuradamente la información disponible orientada a responder preguntas específicas, sobre la base de la revisión de múltiples artículos y fuentes de información (Moreno et al., 2018, pp. 184).

3.1.2. Diseño de Investigación

El diseño es no experimental con nivel documental descriptivo y longitudinal, pues se orienta a interpretar diversos acontecimientos sucedidos con anterioridad sin la manipulación de variables, donde solo se identifican los fenómenos en su ambiente natural para posteriormente ser analizados desde el punto de vista de los participantes en un tiempo determinado en base a las características, impactos diferencias y semejanzas de la metodología aplicada en cada área de estudio (Hernández y Mendoza, 2018).

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

Se evaluarán los problemas y objetivos identificados después de las tres categorías definidas parámetros fisicoquímicos, condiciones de crecimiento de la planta y tiempo de fitorremediación, dentro de las cuales las diferentes subcategorías corresponden a las categorías, y el artículo ya seleccionado para su uso. Criterios de búsqueda y así analizar los términos a utilizar. (**Ver Tabla N°05**)

3.3. Escenario de estudio:

Se han identificado artículos de investigación y publicaciones en diversos contextos sobre métodos para eliminar el cadmio mediante el uso de rododendros y nenúfares; Por lo tanto, se evaluaron encuestas internacionales, nacionales y / o locales.

3.4. Participantes

Los participantes son las fuentes que son accesibles digitalmente en las bases de datos consultadas mediante un algoritmo de búsqueda para obtener investigaciones de aspectos caracterizados para la revisión. En base a ello, los participantes de este estudio secundario son los artículos de estudio primario, es decir, investigaciones experimentales, las cuales cumplieron los criterios de inclusión y fueron extraídos de bases confiables como Science Direct, Scopus, EBSCO, Springer Link, PubMed y SciELO.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de la investigación es análisis documental con el fin de ejecutar un conjunto de métodos para la interpretación de los datos en una forma sistematizada para obtener resultados de comprensión facilitada (Hernández-Ayala & Tobón-Tobón, 2016, pp. 401). Al tratarse de una investigación cualitativa, el investigador es el propio instrumento de recolección de datos, ya que es el quien dirige todo el proceso de revisión de la información (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, pp. 409). Para sistematizar el proceso, se diseñó un formato para la recolección e interpretación de los datos de los artículos considerados en la revisión.

3.6. Procedimiento

Etapas 1: Identificación y recolección de la información

La realización de la revisión inició como una búsqueda limitada en las bases de datos usando palabras claves “azolla”, “jacinto de agua”, “fitorremediación”, “cadmio”, “Cd” y “aguas residuales”, mediante una ecuación de búsqueda (Azolla OR water hyacinth AND phytoremediation AND cadmium OR Cd AND waste water) en las bases de datos. La cantidad total de artículos localizada inicialmente fue de 1001 registros, de los cuales 812, 87, 82, 12, 7 y 1 fueron de Science Direct, EBSCO, Springer Link, Scopus, Pubmed y SciELO respectivamente.

Posteriormente se realizó un filtro de selección que distinguió 280 artículos según el intervalo de tiempo de publicación y tipo de artículo de investigación considerados. Al revisar los términos claves dentro del título y resumen, la lista se redujo hasta 160 artículos.

Etapas 2: Selección de información

La Tabla 3 resume todos los filtros aplicados para la selección final de los artículos. La lectura completa de los resúmenes y los apartados metodológicos de los artículos, permitió la selección final de 23 artículos, de los cuales 3 estuvieron contenidos en las listas de referencia de todos los artículos identificados.

Además los criterios de inclusión y exclusión (ver Tabla 3) se aplicaron en todas las etapas para el análisis crítico y análisis de sensibilidad con el fin de suprimir los sesgos de selección, de tal manera se incluyeron tanto artículos publicados a escala mundial entre los periodos 2014 y 2021, como artículos de investigación en idioma español o inglés, publicados en revistas indexadas que contengan la información y datos necesarios para el desarrollo, y se excluyeron artículos que contuvieran información sobre la remediación de otro contaminante.

Tabla 2. Criterios de búsqueda empleados para la selección de los artículos a analizar.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<p>Investigaciones publicadas en los últimos 7 años (2014-2021)</p> <p>Investigaciones publicadas en revistas indexadas</p> <p>Investigaciones publicadas en idioma inglés y español</p> <p>Investigaciones sobre fitorremediación de cadmio.</p> <p>Investigaciones sobre aguas residuales.</p> <p>Investigaciones publicadas a nivel mundial</p>	<p>Investigaciones publicadas fuera del intervalo 2014-2021</p> <p>Investigaciones publicadas en revistas no indexadas</p> <p>Investigaciones publicadas en otros idiomas</p> <p>Investigaciones de fitorremediación de otros contaminantes</p> <p>Investigaciones sobre otras fuentes de agua u otro tipo de muestra.</p> <p>Investigaciones que no contengan controles apropiados</p>

Fuente: Elaboración propia

Etapa 3: Análisis de la información:

Consiste en la interpretación de la información contenida en los documentos de manera estructurada y analizada para ser plasmadas en el trabajo de investigación según los requerimientos necesarios de los objetivos, mediante la descripción de gráficos y tablas de estadística simple.

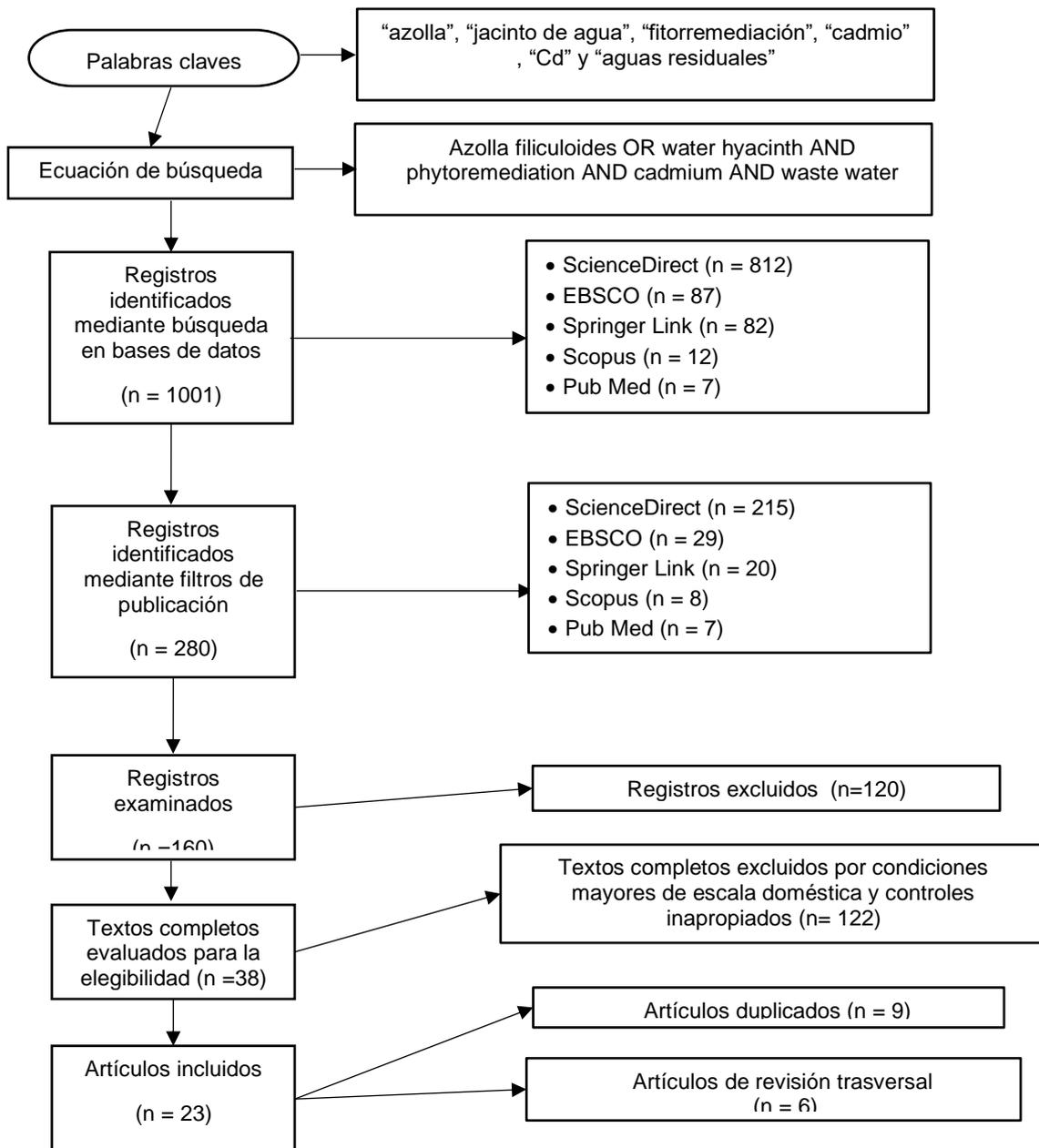


Figura 2. Esquema del procedimiento seguido para la selección de los artículos a analizar en la revisión sistemática.

3.7. Rigor científico

La presente investigación cuenta con rigor científico ya que cumple con los criterios básicos en la descripción de las características de la temática, metodología y calidad de las fuentes bibliográficas, bajo criterios de consistencia y credibilidad. El primer indicador de calidad de rigor, se evidencia en la descripción de la realidad problemática, formulación de objetivos claros y concretos, y una búsqueda de información en bases de datos de artículos que cumplieron con los criterios establecidos de selección, para luego ser analizados mediante una lectura crítica, para obtener resultados en concordancia con las categorías y subcategorías extraídas. Asimismo, la credibilidad se sustenta en la recopilación de información veraz y exhaustiva de las distintas fuentes, como en artículos de revistas indexadas y disponibles para su lectura en bases de datos aceptadas por la comunidad científica como Science Direct, Scopus, EBSCO, Springer Link, Pub Med y SciELO.

3.8. Método de análisis de datos

El método de análisis es crítico en la evaluación de los estudios primarios, a través de lecturas rápidas para construir un pensamiento crítico, evitar errores sistemáticos en todas las etapas de la investigación y reconocer vacíos a indagar para nuevos pensamientos modernos (García-Perdomo, 2015, p. 30), a fin de describir los procesos de fitorremediación de acuerdo a categorías y subcategorías para servir de referencia bibliográfica para los interesados en aplicar tal tecnología de remediación a través de experimentos en laboratorio, en pequeñas plantas piloto o a una escala comparable a la requerida en el tratamiento de efluentes industriales.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó con fuentes informativas de manera verídica y transparente, en la recopilación de datos toda la información fue extraída de fuentes confiables y citado de manera discreta respetando el derecho de autenticidad de los correspondientes autores principales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la literatura hay mucha información sobre el procesamiento de cadmio por grandes plantas, sin embargo, algunas encuestas tienen una base metodológica sólida, datos empíricos sólidos y dan conclusiones. La variación aleatoria y específica del sitio en el tratamiento de la planta puede variar debido a factores como las condiciones climáticas, el crecimiento de la planta, cambios inesperados en las propiedades, los flujos y los tipos y composición del agua utilizada.

4.1. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales que influyen en la fitorremediación de Cd

El pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica son parámetros fisicoquímicos muy importantes en el proceso de remoción de Cd.

El pH afecta tanto la actividad de los cationes metálicos divalentes y su tendencia a formar otras especies químicas mediante reacciones de hidrólisis, reacciones de precipitación (Ecuación 1), acomplejamiento (Ecuación 2) y oxidación y reducción. La precipitación del Cd^{2+} como hidróxido [producto de solubilidad, 4.5×10^{-15} (Harris, 2013, AP 11)] puede inmovilizar el elemento, y solo el Cd^{2+} y el CdL_n^{+2-n} son las formas móviles en el medio acuoso susceptibles de ser trasladadas, absorbidas por las plantas y demás organismos.

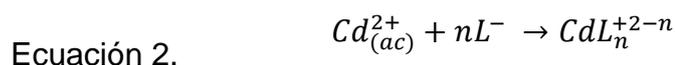
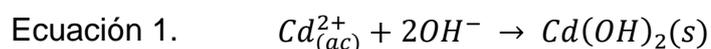


Tabla 3. Algunos parámetros fisicoquímicos que afectan la fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd.

Autor	Fuente de agua	pH	CE	[Cd] (mg/L)
<i>Azolla filiculoides</i>				
Amare et al. (2017)	Aguas residuales	6.5-7.5	-	0.01-0.03
Spanò et al. (2019)	Efluentes de piscinas industriales	-	-	74.51
<i>Eichhornia crassipes</i>				
Agarry et al. (2018)	Refinería de petróleo	7.96	994.5	0.034
Ayaz et al. (2020)	Industrial municipal	-	-	5.40
Buta et al. (2014)	Solución acuosa	-	-	10
Das, Goswami y Das (2016)	Solución nutritiva	6.4-6.7	-	5-20
Du et al. (2020)	Agua de río	-	-	-
Elias et al. (2014)	Aguas residuales	8.21	-	0.16
Kodituwakku y Yatawara (2020)	Plantas de tratamiento industriales	-	-	1.9
Kumar et al. (2016)	Efluentes de fábricas de pasta y papel	7.82	2640	2.45
Lakra, Lal y Banerjee (2019)	Efluentes de mina	4.26	1.04	0.18
Li et al. (2016)	Agua de Lago	8.57	-	0.1-10
Melignani, Faggi y de Cabo (2019)	Agua de río contaminada	7.14	-	1-10
Pandey (2015)	Aguas con cenizas	8.65	160.1	-
Poma y Valderrama (2014)	Solución acuosa	5	-	-
Preussler, Mahler y Maranhó (2014)	Lixiviado de relleno sanitario	-	-	0.02
Rai et al. (2018)	Solución acuosa	-	-	1-5
Rodríguez- Espinosa et al. (2017)	Sistema de humedales artificiales	-	-	-
Sampanpanish y Pinpa (2018)	Lodos de depuradoras	6.61	51.25	79.17
Shirinpur-Valadi et al. (2019)	Solución acuosa	-	-	10
Sricoth et al. (2017)	Municipal	6	300	0.05
Stanovych et al. (2019)	Efluentes de la minería	-	-	0,1
Victor et al. (2016)	Efluentes industriales	-	-	0.7

Interpretación: Los diversos autores reconocen que la especie *Azolla filiculoides* tiene una capacidad de remover cadmio (Cd) con un pH de 6.5 -7.5 en concentraciones de 0.01 a 0.03 mg/Lt , por otra parte, en relación con la especie *Eichhornia crassipes* tiene una capacidad de remover cadmio (Cd) con un pH de 5 – 8.65, con una conductividad eléctrica 1.04 - 2640 en concentraciones de 0.034 - 79.17 mg/Lt

Tabla 4. Influencia de las características del agua residual en el proceso de remediación con *Eichhornia crassipes*.

Parámetro	Sricoth et al. (2017)	Kumar et al. (2016)
Tipo de agua	Agua residual de zonas residenciales, mercado y tienda de autos	Efluente de pasta y papel
Volumen de agua tratada (L)	150	100
Tiempo de remediación (días)	21	60
TKN (mg/Lt)	[7.0]	192.65
BOD (mg/Lt)	[88]	475
COD (mg/Lt)	[30]	880
Pb	[0.8] (63.4%)	1.02 (64%)
Cd	[0.05] (0%)	2.45 (45%)
Zn	[0.3] (0%)	6.9 (55%)

Interpretación: En el contraste del autor *Sricoth et al. (2017)* y *Kumar et al. (2016)* señala que en su mayoría son los efluentes de zonas residenciales e industriales aquellos que son tratados, con volúmenes de 100 a 150 Lt. de agua, en la especie de *Eichhornia crassipes* con tiempos desde 21 a 60 días con una remoción hasta el 45% de Cd según *Kumar et al. (2016)*

4.2. Condiciones de crecimiento de Azolla y Jacinto de agua para la fitorremediación de cadmio.

Tabla 5: Condiciones de crecimiento de la Azolla filiculoides y Eichhornia crassipes

Temperatura	20 a 35 °C
Medio de crecimiento	En áreas húmedas ricas en nutrientes, y adaptación a una amplia gama de pH y a los cambios estacionales
pH	6 - 8

Interpretación: Es necesario mantener un intervalo de temperatura de 20 a 35 °C, cuyo crecimiento se da en áreas húmedas ricas en nutrientes, y adaptación a una amplia gama de pH y a los cambios estacionales, donde el pH ideal para el crecimiento del jacinto de agua se encuentra entre 6-8

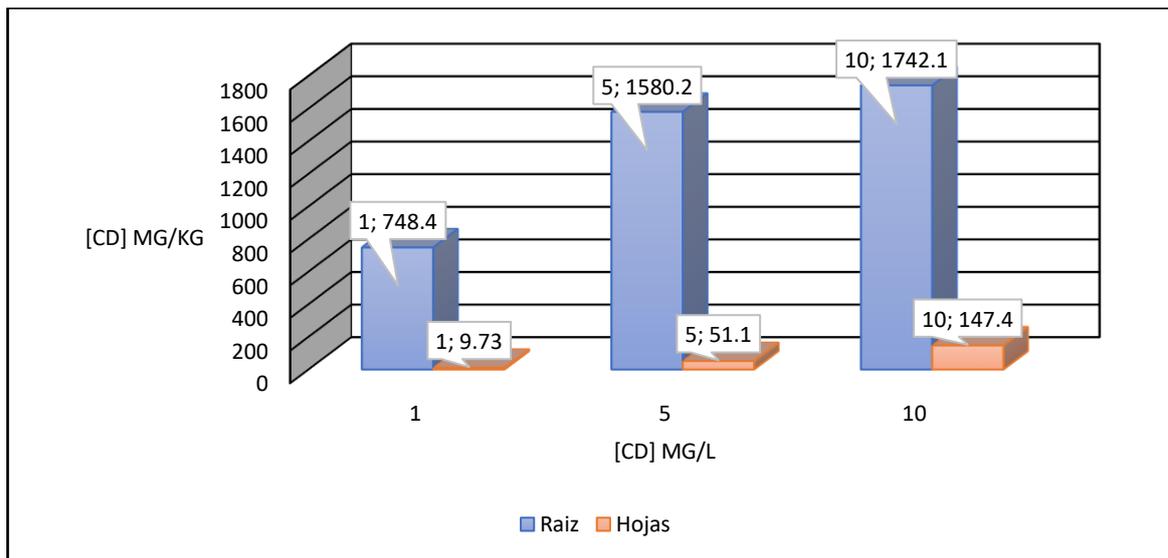


Figura 3. Concentración de Cd en la biomasa de la planta Jacinto de agua en base seca en función al contenido de Cd en solución.

(Fuente: Elaboración propia)

Interpretación: En una concentración en raíz de 5 mg/Lt en relación con base seca de 1580 mg/kg es donde se obtuvo un mayor porcentaje de remoción.

4.3. Tiempo de fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (azolla filiculoides) y Jacinto de agua (eichhornia crassipes).

Tabla 6: Tiempo de fitorremediación del Azolla filiculoides y Eichhornia crassipes

ESPECIE	REFERENCIAS	Porcentaje mínimo de remoción	REFERENCIAS	Porcentaje máximo de remoción	Tiempo
Azolla filiculoides	ANGULO, Edgardo; et al.	88.00%	Das, Cindrella; et al.	98.70%	10 días
	Anh, Thi; et al.	74.00%	Alvarez, Vicente; et al.	98.10%	
	Ocaña, Melanie.	25.90%	Ocaña, Melanie.	83.10%	
Eichhornia crassipes	Aranda, Gloria & Pinchi, Xiome.	11.20%	Enriquez, Ingrid.	98.00%	10 días
	Torres, Alessandra.	54.40%	Enriquez, Ingrid.	98.00%	
	ANGULO, Edgardo; et al.	78.00%	Das, Cindrella; et al.	90.00%	15 días
	BALLEN, Miguel; et al.	88.00%	ROSALES, Ana; et al.	98.70%	

Interpretación: Se reconoce que *Azolla filiculoides* tiene un porcentaje de remoción mínimo de 25.90% de acuerdo a Ocaña, Melanie y un máximo de 98.10% según Álvarez, Vicente; et al. en un tiempo de 15 días. Por otra parte, el *Eichhornia crassipes* 11.20% de acuerdo Aranda, Gloria & Pinchi, Xiome. En un

periodo de 10 días y el máximo de 98.70% de acuerdo a ROSALES, Ana; et al. en un periodo de 15 días.

4.4. Discusión:

En relación con el objetivo N°01, de acuerdo a la tabla N° 03, Agarry et al. (2018) especifica que el pH encontrado en el agua residual analizada (7.96) permite tanto el desarrollo de microorganismos, así como de la planta *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y esto a su vez contribuye a descontaminar otros parámetros del agua como turbidez y contenidos de nitratos y nitritos (pp. 793). El jacinto de agua se adapta bien tanto a pH alcalino, como en el reportado por Li et al. (2016) con un pH = 8.57; Elias et al. (2014) con un pH = 8.21 y por Pandey (2015) con un pH = 8.65, y soluciones con alta actividad del ion hidronio, como la reportada por Lakra, Lal y Banerjee (2019) con un pH = 4.26. Por su parte, la planta acuática Azolla prefiere soluciones con pH cercanos a la neutralidad, como en el reportado por Amare et al. (2017) con un pH entre 6.5-7.5. Como se comentó previamente, el pH, no solo afecta el desarrollo de la microflora y la macroflora, sino que afecta la biodisponibilidad de nutrientes y de los metales objeto de ser extraídos por las plantas macrófitas.

Otro factor que puede condicionar la fitorremediación de Cd, es la fuente de agua residual, pues además del contaminante de estudio, puede estar presentes otras sustancias que tienen influencia en el proceso de fitorremediación, de esta manera se ha estudiado varias fuentes de agua residual tanto artificiales, como generadas en condiciones de laboratorio como las obtenidas de industrias municipales, petroleras, mineras, servicios de piscina, además de lixiviados de elleno sanitario y lodos depuradoras. Por ejemplo, en el trabajo de Rai et al. (2018) se trabaja con soluciones acuosa de los metales Fe, Cu, Zn, Cd y Cr, con el propósito de evaluar la tolerancia, la eficiencia y el tipo de proceso que domina la extracción de los metales pesados por el Jacinto de agua.

En relación con el objetivo específico N°02 de acuerdo a la tabla N°05, referente a la variabilidad de las muestras de agua analizadas, se menciona Ayaz et al. (2020), quienes emplearon para su investigación

aguas residuales de la industria del mármol, la farmacéutica, el plástico y el polietileno, tubos de PVC, cerámica, impresión / embalaje, acero e ingeniería, neumáticos y cámaras, productos químicos y fábricas de fósforos (p. 2). Por su parte, Sricoth et al. (2017) trabajó con aguas residuales provenientes de un mercado local de productos frescos, de zonas residenciales y una tienda de autos (p. 5345). Kumar et al. (2016) trabajo con efluentes de fábricas de pasta y papel y Victor et al. (2016) empleo aguas provenientes de efluentes industriales. Esto hace que las muestras de agua donde se llevan a cabo los procesos de remediación presenten diferentes propiedades fisicoquímicas, así como distintas concentraciones de Cd debido a las actividades diversas de la fuente de generación, lo que a su vez tendrá un efecto en la efectividad de la fitorremediación y el tiempo necesario para alcanzar una eficiencia adecuada, en relación a los parámetros que se planean disminuir. Esto se muestra en la Tabla 5, donde no se incluyen los datos del trabajo de Ayaz et al. (2020), ya que no estaban incluidos en el artículo.

Finalmente, en relación con el objetivo N°03 de acuerdo a la tabla N°05 muestra que las aguas, aunque son residuales, son muy contrastantes, si se comparan los requerimientos de oxígeno para degradar la materia orgánica que contienen, el contenido de N-amoniaco y la contaminación con metales pesados. Al presentar una mayor carga de contaminantes y materia orgánica, en el trabajo de Kumar et al. (2016) se requieren más días de remediación (60 días contra 21 días), ya que además de disminuir el contenido de metales pesados, se tienen que mejorar otros indicadores de calidad de agua. Para el caso del Cd, en Sricoth et al. (2017), una concentración inicial en el agua de 0.05 mg/L, puede no ser lo suficientemente importante para observar variaciones temporales en la concentración; lo mismo puede decirse para Zn de 0.3 mg/L y Pb de 0.8 mg/L. En el caso de Kumar et al. (2016), las concentraciones de estos metales son mayores, y para cada uno de ellos, se obtiene porcentajes de remediación de al menos 45% a los 60 días de tratamiento. Se puede establecer entonces, que la decisión acerca de la remediación del agua

contaminada obedece a criterios y normas sobre la calidad del agua, donde el contenido de metales pesados, es uno de los elementos de decisión.

V. CONCLUSIONES

Se logro indagar cómo es la fitorremediación de Cd en aguas residuales mediante Azolla (*Azolla filiculoides*) y Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*). Demostrándose según la recopilación de datos encontrados que es la primera aquella que obtiene un mayor porcentaje de remoción de 98.10% y de forma muy similar el jacinto de agua con un valor de 98.70% solo que en condiciones muy diversas.

Se logro conocer los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nivel de nutrientes, entre otros) de las aguas residuales que influyen en la remoción de Cd. *Azolla filiculoides* tiene una capacidad de remover cadmio (Cd) con un pH de 6.5 -7.5 en concentraciones de 0.01 a 0.03 mg/Lt , por otra parte, en relación con la especie *Eichhornia crassipes* tiene una capacidad de remover cadmio (Cd) con un pH de 5 – 8.65, con una conductividad eléctrica 1.04 - 2640 en concentraciones de 0.034 - 79.17 mg/Lt

Se logró describir las condiciones de crecimiento de la Azolla y el Jacinto de agua para la remoción de Cd, Es necesario mantener un intervalo de temperatura de 20 a 35 °C, cuyo crecimiento se da en áreas húmedas ricas en nutrientes, y adaptación a una amplia gama de pH y a los cambios estacionales, donde el pH ideal para el crecimiento del jacinto de agua se encuentra entre 6-8

Se logro conocer los parámetros que determinan el tiempo de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd, empleando las plantas acuáticas Azolla y el Jacinto de agua de acuerdo a diversos autores se mantiene tiempos de 10 a 15 días aproximadamente.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más investigaciones con diferentes ingredientes botánicos o minerales.

Realice una combinación de los componentes anteriores para obtener resultados precisos aplicables a la unidad de análisis requerida considerando diferentes condiciones

Se recomienda que se realicen estudios empíricos para aclarar los efectos de cada especie vegetal analizada en este estudio.

Se debe realizar una investigación analizando las condiciones requeridas para eliminar eficazmente los metales pesados tanto del agua, del suelo o de cualquier otro medio.

Desarrollar herramientas para motivar a los residentes de la comunidad a desarrollar medios para purificar agentes pesados.

REFERENCIAS

A critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies por Sonia Mahey [et al.]. SN Applied Sciences, 2: 1279, 2020. ISSN: 2523-3971

A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques por Changfeng Li [et al.]. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 28(4): 1-15, 2019. ISSN: 1532-0383

Accumulation and translocation of heavy metals in water hyacinth: Maximising the use of green resources to remediate sites impacted by ewaste recycling activities por Yongming Du [et al.] Ecological Indicators, 115: 106384, 8. ISSN: 1470-160X

Assessment of some heavy metals in various aquatic plants of Al-Hawizeh Marsh, southern of Iraq por Dunya A. H. Al-Abbawy [et al.]. Biodiversitas, 22(1): 338-345, 2021. ISSN: 1412-033X

BENIAH OBINNA, Isiuku y EBERE, Enyoh Christian. A review: Water pollution by heavy metal and organic pollutants: Brief review of sources, effects and progress on remediation with aquatic plants. Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal, 2(03): 5-38, 2019 ISSN: 2645-5552

Bioaccumulation of heavy metals from wastewaters (Pb, Zn, Cd, Cu and Cr) in water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) por Kouame Kouame Victor [et al.]. International Journal of ChemTech Research, 9(2): 189-195, 2016 ISSN: 0974-4290

Biodegradation and kinetics of organic compounds and heavy metals in an artificial wetland system (AWS) by using water hyacinths as a biological filter por P.F Rodríguez- Espinosa [et al.]. International Journal of Phytoremediation, 20(1): 35-43, 2018 ISSN: 522-6514

Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources por Amit Kumar [et al.]. Chemosphere, 268: 128855, 2021 ISSN: 0045-6535

Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources por Amit Kumar [et al.]. Chemosphere, 268: 128855, 2021 ISSN: 0045-6535

BRAVO, Kenya. Determinación de cadmio en Eichhornia crassipes y otras plantas acuáticas en los ríos Guayas, Daule y Babahoyo: Propuesta de monitoreo ambiental. [en línea]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales,2017. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17413>

Cadmium accumulation, translocation factor, and health risk potential in a wastewater-irrigated soil-wheat (*Triticum aestivum* L.) system por Salar Rezapour [et al.]. Chemosphere, 231: 579-587, 2019 ISSN: 0045-6535

Cadmium, iron and chromium removal from simulated waste water using algae, water hyacinth and water lettuce por Sani Nasiru Alhaji [et al.]. American Journal of Applied Chemistry, 9(1): 36-42, 2021 ISSN: 2330-8753

CALDERON, Junior. Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la Eichhornia crassipes presentes en la Laguna Valle Hermoso. [en línea.]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7908>

Ceramic industry wastewater treatment by rhizofiltration system – Application of water hyacinth bioremediation por Siti Hanna Elias [et al.]. The IIOAB Journal, 5(1): 6-14, 2014. ISSN: 0976-3104

Comparative studies of the phytoextraction capacity of five aquatic plants in heavy metal contaminated water por Erzsébet Buta [et al.]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 42(1): 173-179, 2014 ISSN: 0255-965X

Comprehensive large-scale investigation and assessment of trace metal in the coastal sediments of Bohai Sea por Honjun Li [et al.]. Marine Pollution Bulletin, 129 126–134, 2018 ISSN: 0025-326X

Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú por Raúl F. Quispe Yana [et al.]. *Revista Boliviana de Química*, 36(2): 83-90, 2019 ISSN: 250-5460

Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador por E. Chavez [et al.]. *Science of the Total Environment*, 533: 205–214, 2015 ISSN: 0048-9697

DAS, Anamika y OSBORNE, Jabez William. Bioremediation of Heavy Metals. En: K M Gothandam et al. (eds.), *Nanotechnology, Food Security and Water Treatment, Environmental Chemistry for a Sustainable World 11*. Springer International Publishing AG, 277-311, 2018

DAS, Suchismita, GOSWAMI, Sunayana y DAS TALUKDAR, Anupam. Physiological responses of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, to cadmium and its phytoremediation potential. *Turkish Journal of Biology*, 40: 84-94, 2016 ISSN: 1300-0152

Field based investigation on phytoremediation potentials of *Lemna minor* and *Azolla filiculoides* in tropical, semiarid regions: Case of Ethiopia por Elfu Amare [et al.]. *International Journal of Phytoremediation*, 20(10): 965-972, 2017 ISSN: 1522-6514

Field trials of phytomining and phytoremediation: A critical review of influencing factors and effects of additives por Liuwei Wang [et al.]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(24): 1-51, 2020 ISSN: 1064-3389

FLORES, Betty, ROJAS, Lisbet, SUYÓN, Elizabeth. Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Médano, Morrope. [Tesis]. Universidad de Lambayeque, Facultad de Ciencias e Ingeniería, pp. 1-65, 2020. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/314/1/TESIS%20ROJAS%20Y%20SUYON.pdf>

FU, Zhushan y XI, Shuhua. The Effects of Heavy Metals on Human Metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30(3): 167-176, 2020 ISSN: 1537-6516

GARCÍA-PERDOMO, H. A. Evidence synthesis and meta-analysis a practical approach. *International Journal of Urological Nursing*, 10(1): 30–36, 2015 ISSN: 1749-7701

Heavy metals in the environment: fate, toxicity and remediation technologies por Pavan Kumar Gautam [et al.] en *Heavy Metals*, [India], Nava Science Publishers, 2016, pp. 1-29. ISSN: 978-1-63484-740-7

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la Investigación*. 5ta ed. México D.F.: Mc Graw Hill, 2010, 613. ISBN: 978-607-15-0291-9

HERNÁNDEZ-AYALA, H. y TOBÓN-TOBÓN, S. Análisis documental del proceso de inclusión en la educación. [en línea]. *RA XIMHAI*, 12(6), 399-420, 2016 ISSN: 1665-0441

HUARACA, Andrea y LUJAN, Carlos. *Revisión Sistemática: Fitorremediación empleando plantas hiperacumuladoras acuáticas para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas*. [Tesis]. Universidad César Vallejo, 2020. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61517>

Integrated remediation processes toward heavy metal removal/recovery from various environments-A review por Adikesavan Selvi [et al.]. *Frontiers in Environment Science*, 7(66): 1-15, 2019. ISSN: 2296-665X

LAKRA, Kalpana C., LAL, Bechan y BANERJEE, Tarun Kumar. Application of phytoremediation technology in decontamination of a fish culture pond fed with coal mine effluent using three aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, 21(9): 840-848, 2019. ISSN: 1522-6514

MARÍN, Gloria M. y GARCÍA, Mesías M. Contaminación por cadmio en alimentos marinos, Lima-2015. *Ciencia e Investigación*, 19(1): 24-28, 2016. ISSN: 1561-0861

Melignani, Eliana, FAGGI, Ana María y DE CABO, Laura Isabel. Growth, accumulation and uptake of *Eichhornia crassipes* exposed to high cadmium concentrations. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 22826–22834 2019. ISSN: 0944-1344

Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis por Humberto Ñaupas Paitan [et al.]. 5 ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2018, 562 p. [Fecha de consulta: 01 de abril de 2021]. Disponible en: <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>

MISHRA, Saurabh y MAITI, Abhijit. The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(9):7921-7937, 2017. ISSN: 0944-1344

PANDEY, Vimal Chandra. Phytoremediation efficiency of *Eichhornia crassipes* in fly ash pond. *International Journal of Phytoremediation*, 18(5): 450-452, 2016. ISSN: 1522-6514

PÉREZ, Neil. Análisis del nivel de fitorremediación de mercurio utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en una muestra de agua contaminada artificialmente, Trujillo-2017. [Tesis]. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, pp. 1-49, 2017. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2021]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35931/perez_vn.pdf?sequence=1

Phytoremediation of Heavy Metals and Pesticides Present in Water Using Aquatic Macrophytes por Sangeeta Anand [et al.]. En Arora N., Kumar N. (eds) *Phyto and Rhizo Remediation. Microorganisms for Sustainability*, 9: 89-119, 2019. Springer, Singapore ISBN: 978-981-32-9663-3

Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review por Varinder Singh Kanwar [et al.]. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 44835–44860, 2020 ISSN: 0944-1344

Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador por Beatriz Pernía [et al.]. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales, 10(2):37-51, 2016 ISSN: 1390-8413

Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* L.) for phytoremediation of heavy metals from waste water por MI Nazir [et al.]. Biological and Clinical Sciences Research Journal, Volume 2020: e006 ISSN: 2708-2261

Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences por Kanwal Rehman [et al.]. Journal of Cellular Biochemistry, 19:157–184, 2018 ISSN: 0733-1959

RAHMAN, Zeeshanur y SINGH, Ved Pal. Bioremediation of toxic heavy metals (THMs) contaminated sites: concepts, applications and challenges. Environmental Science and Pollution Research, 27(22):27563-27581 ISSN: 0944-1344

RAI, Prabhat Kumar. Heavy metal phyto-technologies from Ramsar wetland plants: green approach. Chemistry and Ecology, 34(8): 786-796, 2018 ISSN: 0275-7540

Removal of cadmium heavy metal ions from wastewater by electrosorption using modified activated carbon felt electrodes por Rijo Rajumon [et al.]. Water Science & Technology, 82(7)1430-1444, 2020. ISSN: 0273-1223

Removal of Pb, Zn, Cu, and Cd by Two Types of *Eichhornia crassipes* por Qiang Li [et al.]. Environmental Engineering Science, 33(2): 88-97, 2016 ISSN: 1557-9018

Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas por Begoña Moreno [et al.]. Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral, 11(3); 184-186, 2018. ISSN: 0719-0107

ROYCHOWDHURY, Abhishek, DATTA, Rupali, SARKAR, Dibyendu. Heavy Metal Pollution and Remediation. Green Chemistry, 359-373, 2018. ISSN: 1463-9262

SANDOVAL, Jocelyn. Eficiencia del jacinto de agua *Eichhornia crassipes* y lenteja de agua *Lemna minor* L. en la remoción de cadmio en aguas residuales. [Tesis].

Universidad Nacional Federico Villareal, pp. 1-95, 2019. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3256>

SHARMA, S., SINGH, B. y MANCHANDA, V. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 946–962, 2015 ISSN: 0944-1344

Spanò, C.; Bottega, S.; Sorce, C.; Bartoli, G.; Ruffini Castiglione, M. TiO₂ nanoparticles may alleviate cadmium toxicity in co-treatment experiments on the model hydrophyte *Azolla filiculoides* por C. Spanó [*et al.*]. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 29872–29882, 2019 ISSN: 0944-1344

SUVAPARU, Lakshmi Narayana y BAEK, Sung-Ok. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review. *Toxicology and Industrial Health*, 33(1): 79-96, 2017 ISSN: 0748-2337

TANTALEAN, Erick y HUAUYA, Miguel Ángel. Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana, *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 1(2): 69-78, 2017 ISSN: 2520-5145

The Effects of Cadmium Toxicity por Giuseppe Genchi [*et al.*]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11): 3782, 2020. ISSN: 1660-4601

ANEXOS

Tabla 7: Matriz de operabilización

ÁMBITO TEMÁTICO	PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA		
Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (Azolla filiculoides) y Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)	¿Cuáles son los aspectos más relevantes para la fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cadmio mediante Azolla (Azolla filiculoides) y Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)?	¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nivel de nutrientes, entre otros) de aguas residuales que influyen en la remoción de Cd?	Indagar cómo es la fitorremediación de Cd en aguas residuales mediante Azolla (Azolla filiculoides) y Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes).	Conocer los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nivel de nutrientes, entre otros) de las aguas residuales que influyen en la remoción de Cd	Parámetros fisicoquímicos	pH		
						Conductividad eléctrica		
						Contenido de materia orgánica		
						Nivel de nutrientes		
					¿Cuáles son las condiciones de crecimiento de la Azolla y Jacinto de agua para la remoción de Cd?	Describir las condiciones de crecimiento de la Azolla y el Jacinto de agua para la remoción de Cd	Condiciones de crecimiento de la planta	Medio de crecimiento
								Estado fisiológico

		<p>¿Cuáles son los parámetros que determinan el tiempo de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd, por la Azolla y el Jacinto de agua?</p>	<p>Conocer los parámetros que determinan el tiempo de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con Cd, empleando las plantas acuáticas Azolla y el Jacinto de agua.</p>	<p>Tipos de fitorremediación</p>	<p>Medios de contención</p>
					<p>Medios de Eliminación</p>

Tabla 8. Algunas condiciones para el crecimiento de las plantas acuáticas *Azolla* y *Jacinto de Agua*.

Autor	T (°C)	Tiempo (días)	Aditivos
<i>Azolla filiculoides</i>			
Amare (2017)	14-29	28	-
Spanò <i>et al.</i> (2019)	20	-	Nano-TiO ₂
<i>Eichhornia crassipes</i>			
Agarry <i>et al.</i> (2018)	25- 35	28	-
Ayaz <i>et al.</i> (2020)	-	60	-
Buta (2014)	24-28	-	Solución nutritiva
Das, Goswami y Das (2016)	-	21	Solución nutritiva
Du <i>et al.</i> (2020)	-	-	-
Elias <i>et al.</i> (2014)	-	5	-
Kodituwaku y yatawara (2020)	28	14	-
Kumar <i>et al.</i> (2016)	-	60	-
Lakra (2019)	22.36	10	-
Li (2016)	-	16	-
Melignani, Faggi y de Cabo (2019)	22	7	-
Pandey (2015)	-	-	-
Poma y Valderrama (2014)	25	28	KNO ₃ , NH ₄ NO ₃ , Superfosfato triple
			MgSO ₄ , Quelato de hierro, MnSO ₄ , H ₃ BO ₃ , Ácido bórico, ZnSO ₄ , CuSO ₄ , Molibdato de amonio
Preussler, Mahler y Maranhó (2014)	-	-	-
Rai <i>et al.</i> (2018)	-	15	-
Rodríguez- Espinosa <i>et al.</i> (2017)	-	-	-
Sampanpanish y Pinpa (2018)	-	60	EDTA / DTPA
Shirinpur-Valadi <i>et al.</i> (2019)	24-28	10	-
Sricoth <i>et al.</i> (2017)	26.3	21	Solución de Hoagland con bajo contenido de fosfato (KH ₂ PO ₄ 0,2 mM)
Stanovych <i>et al.</i> (2019)	-	-	-
Victor <i>et al.</i> (2016)	-	20	-

Tabla 9. *Procesos y condiciones que dirigen la remoción de Cd.*

Autor	Lugar	Proceso	Mecanismo	V	T	%R
<i>Azolla filiculoides</i>						
Amare (2017)	Cámara	Fitoextracción	Absorción	-	28	-
Spanò et al. (2019)	Macetas	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	0.1	3	93
<i>Eichhornia crassipes</i>						
Agarry et al. (2018)	Humedales	Rizofiltración	Plantas- microbios	50	35	94.6
Ayaz et al. (2020)	Macetas	Rizofiltración	Sorción	145	63	60.4
Buta (2014)	Recipiente	Rizofiltración	Absorción-adsorción	~20	-	-
Das, Goswami y Das (2016)	Recipiente	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	2	21	-
Du et al. (2020)	Rio	Rizofiltración	Absorción-adsorción	-	-	-
Elias et al. (2014)	Tanque	Rizofiltración	Absorción-adsorción	-	5	96
Kodituwakku y Yatawara (2020)	Humedales	Rizofiltración	Absorción-adsorción	0.1	28	73.7
Kumar <i>et al.</i> (2016)	Tanque	Fitoextracción	Absorción- Traslocación	100	60	[45.3]
Lakra (2019)	Estanque	Rizofiltración	Absorción-adsorción	10	10	94.4
Li (2016)	Envase plástico	Rizofiltración	Absorción-adsorción	-	16	92-96
Melignani, Faggi y de Cabo (2019)	Envase plástico	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	4	7	
Pandey (2015)	-	Rizofiltración	Absorción, adsorción	-	-	-
Poma y Valderrama (2014)	-	Rizofiltración	Absorción, adsorción	0.05	8	63.40
Preussler, Mahler y Maranhó (2014)	Humedales	Rizofiltración	Absorción, adsorción	-	730	-
Rai et al. (2018)	Envase	Rizofiltración	Absorción, adsorción	10	15	84-95
Rodríguez- Espinosa <i>et al.</i> (2017)	Tanque	Rizofiltración	Absorción, adsorción	-	2	-
Sampanpanish y Pinpa (2018)	Macetas	Rizofiltración	Absorción, adsorción	0.2	120	-
Shirinpur-Valadi et al. (2019)	Bloques	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	3	70	31.43
Sricoth et al. (2017)	Laboratorio	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	150	21	- 0.01
Stanovych et al. (2019)	Bloques	Rizofiltración	Plantas-Microbios	-	32	-
Victor et al. (2016)	Tanque	Rizofiltración Fitoextracción	Absorción, adsorción, traslocación	400	20	64

V, volumen de agua en L; T, tiempo en días de remediación; %R, porcentaje de remediación

- Revisión del turnitin

The image shows a Google Docs interface with a Turnitin Draft Coach overlay. The document is titled "Tesis Junior 1" and is a research project from Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. The title of the project is "Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (*Azolla filiculoides*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)". The Turnitin overlay shows an overall similarity score of 11% and lists two sources: repositorio.ucv.edu.pe (3%) and repositorio.une.edu.pe (1%).

Facultad de Ingeniería
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante Azolla (*Azolla filiculoides*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Turnitin Draft Coach
Overall Similarity: 11%
Last checked: Dec 15 5:04 PM -05

Source	Similarity
1 repositorio.ucv.edu.pe (INTERNET)	3%
2 repositorio.une.edu.pe (INTERNET)	1%

You can run 2 more similarity checks.
Run New Similarity Check
View Full Report