

Estudio teórico sobre las características, los impactos negativos y los usos alternativos del Lirio Acuático (*Eichhornia Crassipes*)



Colaboración

Martha Paulina Sosa Reyes; Leslie Valeria García Arteaga; Francisca Hernández Angel, Universidad Politécnica de Altamira

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

RESUMEN: El Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta flotadora, la cual se considera una de las cien malezas más invasoras del mundo. Esto se debe a su alto nivel de proliferación y a los impactos negativos que produce en los ecosistemas que invade. En el presente trabajo se analizan las características, los impactos negativos, los métodos de control y los usos alternativos de la planta. Para ello se llevó a cabo una investigación cualitativa enfocada en una revisión de literatura descriptiva y documental, en la cual se analizaron diecinueve artículos de investigación extraídos de cuatro bases de datos (Google Académico, Scielo, Dialnet y la Web of Science) los cuales abarcan del año 2018 a 2022. Los resultados de este estudio muestran que es un tema de interés actual que está incrementando en los años recientes y además tiene el potencial de generar nuevas líneas de investigación enfocadas a las alternativas de aprovechamiento sustentable que pueden convertirse en nuevos métodos para controlar la plaga de lirio y minimizar sus efectos nocivos al medioambiente.

PALABRAS CLAVE: Características, *Eichhornia Crassipes*, Impactos negativos, Lirio Acuático, Métodos de Control, Plaga Invasora, Usos Alternativos.

ABSTRACT: *The Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) is a floating plant considered one of the hundred most invasive weeds in the world. This is due to its high proliferation rate and the negative impacts it produces on the ecosystems it invades. This work analyzes the characteristics, negative impacts, control methods, and alternative uses of the plant. A qualitative research was carried out focused on a review of descriptive and documentary literature, in which nineteen research articles were analyzed extracted from four databases (Google Scholar, Scielo, Dialnet, and the Web of Science) which cover the years 2018 to 2022. The results of this study show that it is a current topic of interest that is increasing in recent years and also has the potential to generate new research lines focused on sustainable use alternatives that can become new methods to control the water hyacinth plague and minimize its harmful effects on the environment.*

KEYWORDS: *Characteristics, Eichhornia Crassipes, Negative Impacts, Water Lily, Control Methods, Invasive Pest, Alternative Uses.*

INTRODUCCIÓN

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), nativo de Brasil y de países centroamericanos, es una planta flotante e hidrófita de la familia Pontederiaceae. De esta planta existen al menos unas siete especies; su morfología es muy característica, pues posee unas hojas de forma circular a ovalada, con flores entre tonos de color lila y azul [1]. Esta planta existe mayormente en regiones tropicales o subtropicales sin embargo debido a su adaptabilidad esta se ha llegado a extender en diversas partes del mundo hasta el punto de considerarla una plaga, ya que afecta a una gran variedad de ecosistemas [2].

Para el año 1948, se había extendido en muchas regiones de América del Sur y Centroamérica y en países como Australia, China, India, Japón y Sudáfrica, territorios que cuentan con climas que favorecen su crecimiento [3]. Cabe destacar que desde años atrás ya se notaba el impacto negativo que causa esta maleza. Un ejemplo claro de esto fue en Bengala Occidental, la planta era una amenaza para la agricultura, pesca, salud y saneamiento de las comunidades rurales que vivían ahí. Fue por ello que el departamento de agricultura de ese país intentó erradicar sin éxito esta maleza. Debido a esto se propuso usar el lirio como abono, una alternativa de aprovechamiento que permitía cubrir la deficiencia de nitrógeno de los suelos de esa zona, sin embargo, todavía no había suficientes estudios sobre el tema [4].

Aunque es cierto que en su hábitat natural esta planta es necesaria para proveer refugio y zonas de alimentación a la fauna acuática, en grandes cantidades se vuelve una plaga debido a los impactos negativos que causa en los ecosistemas que invade [5]. Por un lado, se considera que el Lirio Acuático (LA) acarrea problemas ecológicos, ambientales y económicos. Por otra parte, tiene mucho potencial de aprovechamiento pues ha servido como fitorremediador, entre otros [2]. Por todo esto, este tema de investigación es de interés actual pues las investigaciones realizadas podrían tener un impacto en la reducción de la plaga de esta maleza o en la reducción de sus efectos nocivos al medioambiente. Es por eso que en este estudio teórico se analizarán exhaustivamente las características del lirio acuático, la problemática global y en México que existe, los impactos nocivos que causa, los métodos de control existentes y las alternativas de aprovechamiento que se han investigado.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación es un estudio teórico, pues tiene un enfoque cualitativo debido a que muestra las características de dicho enfoque. Tales como un enfoque inductivo, datos descriptivos y un proceso de investigación flexible [6]. En el estudio la revisión de literatura desempeña un papel protagónico en todas las etapas que se desempeñaron. Las cuales se representan en la Figura 1 mostrada a continuación:

La etapa de planeación consiste en la conceptualización de la idea y la definición de los términos de búsqueda. Después la etapa de la problemática como su nombre lo indica es la definición del problema que se pretende abordar en el estudio, el cual puede modificarse al avanzar la revisión de la literatura. La definición del objetivo es fundamental en la investigación pues esto denota el rumbo que tomará el trabajo, sin embargo, este también puede ser modificado por la literatura encontrada. De igual manera la metodología describe los pasos a seguir y es útil para formalizar el estudio y su credibilidad.

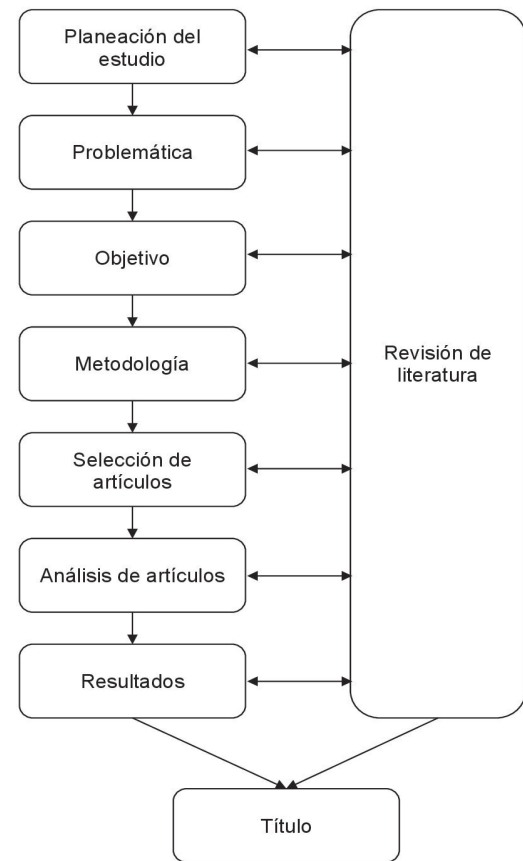


Figura 1. Representación gráfica de la metodología cualitativa en estudio teórico.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura.

Las siguientes etapas de selección y análisis de los artículos se muestran en la Figura 2 presentada a continuación:

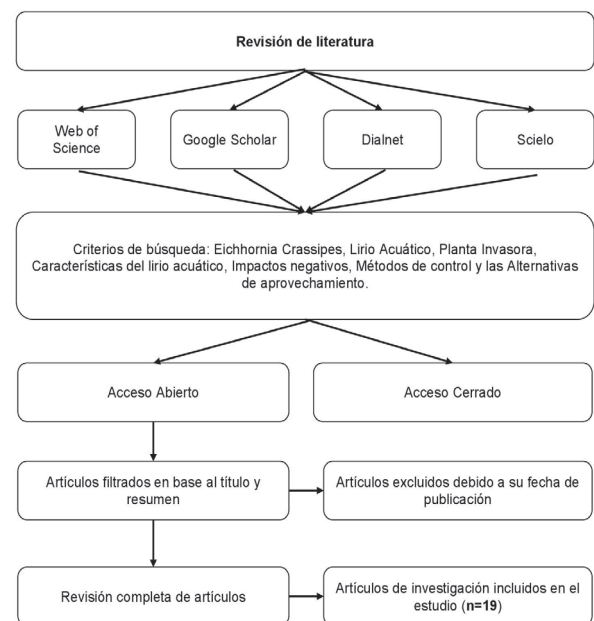


Figura 2. Descripción gráfica de la metodología seguida.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura.

Tal y como muestra en la Figura anterior, la revisión bibliográfica inició con la búsqueda en 4 bases de datos que se tuvieron a disposición, la mayoría de ellas gratuitas; de las cuales se extrajeron 7 referencias de Google Académico, 4 de Scielo, 4 de Dialnet y 5 de Web of Science, dando un total de 20 artículos, de los cuales uno fue para la justificación de la metodología cualitativa, es por ello que se excluyó en la Figura 2.

La información obtenida por dichas bases de datos consistió en artículos publicados en un intervalo de 5 años (2018 a 2022) con el propósito de recabar información reciente y actualizada, lo que a su vez tuvo cierto nivel de dificultad dado que en esos años se registró un número relativamente bajo en los criterios a evaluar en las bases de datos gratuitas y en los artículos de acceso abierto. Sin embargo, sólo se categorizaron los artículos que se pudieron conseguir de forma gratuita debido a las limitaciones que existen por las bases de datos que requieren una remuneración monetaria por el acceso a los artículos científicos [7]. Con la excepción de que se tomaron en cuenta artículos que no están en el intervalo de tiempo requerido si se determinó que eran las primeras investigaciones originales que se habían realizado sobre este tema.

La selección de artículos científicos se basó en los criterios de evaluación definidos al inicio del estudio, los cuales refieren a las características del lirio acuático, los impactos negativos que causa, los métodos de control que existen y las alternativas de aprovechamiento del lirio. Con los diecinueve artículos escogidos se elaboró una base de datos y se desarrolló un tratamiento de datos textuales la cual facilitó la redacción de la investigación. La revisión de literatura tiene un enfoque deductivo pues se investigó de forma general o global hasta llegar a lo particular.

Algunos de los descubrimientos realizados de esta revisión bibliográfica se muestran a continuación.

RESULTADOS

Reproducción

Se puede decir que el LA es una especie que presenta un rápido crecimiento debido a que se sabe que se ha extendido en varias partes del mundo, esta planta tiene la habilidad de desarrollarse en aguas con un alto contenido de nutrientes, debido a esto se puede saber que el LA crecerá a una mayor velocidad [5]. Es una planta capaz de duplicar su población en un corto periodo de tiempo. La reproducción del lirio se puede generar de dos maneras en la que puede ser por medios vegetativos que es a través de la generación de estolones, otra de ellas es la reproducción sexual la cual inicia mediante semillas con la habilidad de permanecer en el agua durante seis años [1].

Composición Química

Esta planta tropical dispone de características químicas potenciales que pueden variar de acuerdo a la zona geográfica o incluso las condiciones en las que se encuentre [5]. También tiene la habilidad de adaptarse a diversas condiciones debido a que puede tolerar las variaciones que se puedan presentar en los mantos acuíferos como por ejemplo la temperatura, nutrientes y otros aspectos que puedan influir en el medio ambiente, se cree que el ph que debe de tener el lirio acuático para su desarrollo debe ser entre 6 y 8, con una temperatura aproximada de 1 a 40 °C, sin embargo, a temperaturas menores de 1 °C esta planta es sensible [2].

Retomando lo anteriormente dicho se debe tomar en cuenta que todas estas características tienden a variar puesto que influyen tanto las condiciones ambientales como también la zona geográfica donde dicha planta se encuentre situada. Su composición química general es la siguiente: cuenta con entre el 92.8 y 95% de agua, de 4.2 a 6.1% de compuestos volátiles, de 18.2 a 19% de celulosa, de 48.7 a 50% de hemicelulosa, de 3.5% a 3.8% de lignina y de 13 a 13.5% de proteína cruda, por lo anterior se observa la amplia capacidad que tiene el lirio para procesarse [5].

Características

El lirio acuático es considerado como una planta altamente captadora de agua, con una alta proliferación en las zonas acuíferas, debido a la habilidad que tiene para adaptarse a diversas condiciones ambientales, con la capacidad de duplicarse en un aproximado de cinco días [5]. Se cree que el lirio acuático tiene la habilidad de eliminar residuos de las aguas tales como zinc, cobre y cromo entre otros, aunque aún se desconoce de este tema debido a la poca información y experimentación que se tiene hasta el momento [2]. Sin embargo, esta línea de investigación tiene potencial de crecimiento debido al interés de buscar nuevas tecnologías más sostenibles en la remoción de los metales pesados por parte del sector industrial [8].

Situación Global

Como ya se mencionó por un lado, el LA causa que la calidad de vida de las personas que viven cerca del ambiente donde se encuentra se vea afectada, por otra parte, la planta ha servido como fitorremediador, entre otras alternativas de usos pues la especie tiene un potencial de aprovechamiento muy amplio [2].

Por este motivo a lo largo de los años se han realizado cada vez más investigaciones respecto al tema, las cuales pretenden encontrar una solución factible la cual permita reducir la propagación del LA y a su vez aprovechar efectivamente este recurso de manera amigable con el ambiente. Los primeros estudios realizados se enfocan en las propiedades

y características físicas y químicas del lirio, esto fue debido a que existía un desconocimiento general de esta planta invasora y se necesitaban estudios más profundos para que a partir de esos descubrimientos se pudiera empezar a desarrollar propuestas efectivas contra esta maraña.

El LA o “jacinto de agua” ha ido evolucionando a través del tiempo, pues cuando se analizaron nuevamente sus características notaron que estas eran ligeramente diferentes, pues las células meristemas encargadas del crecimiento permanente de las plantas lograron un cambio en cuanto a la resistencia progresiva [9]. En años recientes las investigaciones que se realizan tienen como objetivo encontrar alternativas de aprovechamiento y métodos de control enfocadas en el aspecto ambiental que puedan combatir satisfactoriamente esta plaga [7].

Los estudios sobre el LA son un tema de interés que ha ido en aumento desde años anteriores hasta la actualidad, no sólo en aspectos ambientales sino también en un enfoque científico. En la Figura 2 se muestran todos los artículos científicos publicados referentes al tema, así como la tendencia de las investigaciones publicadas en un tiempo predeterminado.

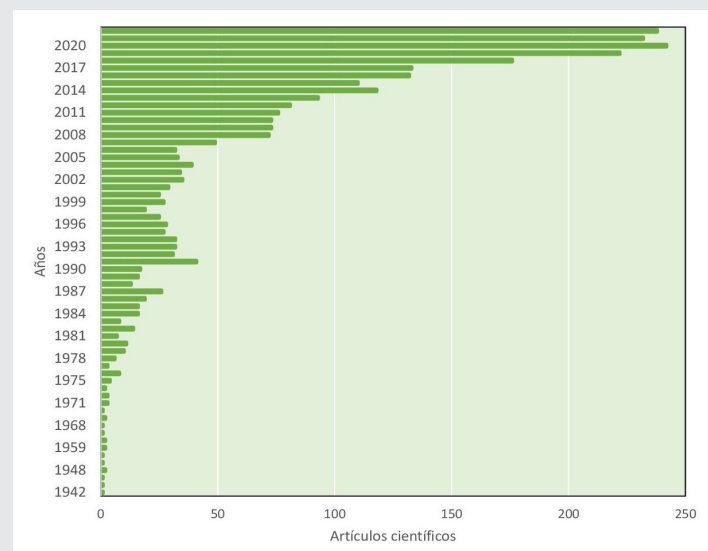


Figura 3. Historial de Artículos Científicos publicados desde 1942 hasta el año 2022.

Gráfica de Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la Web of Science.

Se puede observar que los estudios científicos que refieren a la planta muestran un incremento considerable desde 1942 cuando se publicó el primer artículo hasta el año 2022 cuando se publicaron 238 artículos. Habiendo un pico en la década de los noventa y a partir de ese momento hubo un incremento exponencial de investigaciones publicadas.

De manera similar en la Figura 3 se puede observar que los diez países que son los mayores productores de artículos científicos sobre el lirio son India, China, Estados Unidos, Brasil, Sudáfrica, Egipto, Tailandia, Malasia, México y Japón. En la cual México obtiene el noveno lugar de esta lista, lo cual indica que el país está invadido por esta maleza y está sufriendo los efectos negativos que causa esta plaga y por tanto está muy interesado en minimizar los daños causados y en encontrar un aprovechamiento sostenible que ayude a controlar esta plaga.

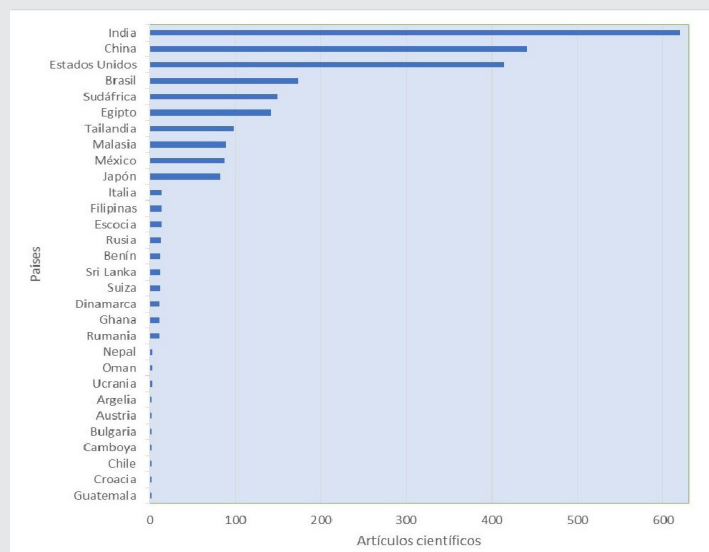


Figura 4. Los países mayores productores de artículos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la Web of Science.

Situación en México

En México, esta planta fue introducida a finales del siglo diecinueve, sin embargo, se desconoce quién la introdujo al país. Ya se habían reportado avistamientos de esta maleza en la ciudad de México en 1897 pero no fue hasta 1906 se le reconoció oficialmente como planta invasora en el país [10]. Cabe destacar que el reconocimiento de maleza del LA es debido a los efectos negativos que tiene en el ambiente que invade como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes que este provoca.

En el seminario que se llevó a cabo en 1988 “Control y Aprovechamiento del Lirio Acuático” se determinó que para desarrollar un método de control efectivo de esta maleza se necesita considerar el ambiente donde invade y que para ese momento los conocimientos que se tenían sobre esta planta eran insuficientes para ello [11]. Además, en territorios como el de México donde no existe ningún depredador natural de esta planta, esta condición se complica y debido a la rápida proliferación que tiene esta maleza, el impacto de esta planta indeseable se agrava [12].

Problemática del lirio acuático

El LA es considerado como una plaga debido a su crecimiento desmedido y a los problemas que causa, por ejemplo, en la navegación en cuerpos de agua como lo son ríos y lagos. Además, genera la eutrofización, acumulación de residuos orgánicos, lo que reduce la calidad del agua; también incrementa la evapotranspiración, obstaculiza la entrada de luz solar y disminuye el oxígeno presente en las vías fluviales en las que se encuentra. Por todo esto, a esta planta se le considera como maleza [10]. A continuación, se desglosan los impactos más significativos que produce esta planta.

Impacto Ambiental: Se obtuvo que el lirio acuático es capaz de ejercer alteraciones ecológicas en los ecosistemas como en la cadena alimentaria, en los nutrientes de la masa de agua, en la supervivencia de las especies nativas y pérdida de agua por evapotranspiración. Además, presenta una rápida reproducción provocando que la luz y el oxígeno disminuya en los cuerpos de agua lo que a su vez provoca la muerte de otras especies. Descentraliza los ecosistemas acuáticos, degradándose y limitando su funcionamiento. Cuando se descomponen en grandes cantidades produce una sedimentación que contamina el agua [2], [13], [14], [15].

Impacto Económico: En cuanto al Impacto económico las esteras que forman el lirio impiden la realización de actividades económicas como la pesca, la navegación y algunas actividades turísticas, también las estaciones hidroeléctricas se ven severamente afectadas debido a que obstruyen el flujo de agua causando daños y complicaciones. Debido a su gran capacidad de absorción aumenta la pérdida del agua provocando un impacto negativo en cuanto a la parte económica del lugar. El problema con esta maleza se toma en cuenta en relación del funcionamiento que tenga en las zonas acuíferas en las que se encuentre, por ejemplo, si esa vía fluvial se usa como fuente de agua entonces la disminución de la calidad del agua incrementa el costo del tratamiento que necesita el agua para potabilizarla aumentando a su vez el costo de esta, por tanto, afecta económicamente a las regiones aledañas [15], [2], [16], [1], [17].

Impacto Social: Esta planta ayuda a la reproducción de especies que esparcen enfermedades e infecciones lo que provoca un riesgo para la salud, sin embargo, la descomposición de esta planta provoca que la masa de agua donde se encuentra se vuelva más eutrófica lo que puede conllevar a la producción de enfermedades, trayendo consigo afectaciones a las comunidades que tienen como actividad principal la agricultura y la pesca, dificultado el transporte acuático, irrigación, la natación y otras actividades subsidiarias trayendo con esto afectaciones a las comunidades aledañas en las zonas acuíferas invadidas por esta maleza [15], [2], [16], [1], [17].

Para minimizar todos estos impactos se han realizado numerosos estudios que buscan alternativas de aprovechamiento y métodos de control efectivos que ayuden a reducir esta plaga.

Métodos de Control

Se han desarrollado métodos mecánicos, químicos y biológicos con el fin de revertir en cierta forma el impacto causado, sin embargo el uso y tratamiento de estos no siempre traen resultados favorables, ya que puede llegar a generar costos altos, además puede provocar un impacto negativo en cuanto a las propiedades del agua viéndose afectados los seres vivos que se encuentran en ella, debido a que para remediar dicho problema se utilizan diversos procedimientos y productos químicos [18].

Control Mecánico: El método de control mecánico requiere el uso de maquinaria y demás productos que nos ayuden y faciliten el remover la maleza. Este método consiste en desplazar el LA y trasladarlo a otros espacios, aunque este proceso puede llegar a ser un prelude de control químico en el cual el agua se rocía con herbicidas una vez eliminadas las malas hierbas [1]. Este método puede llegar a tener un alto costo dependiendo la zona en donde este sea aplicado, debido a que en algunas zonas se podrá encontrar una mayor cantidad de LA en comparación con otras, esto va a diferir en cuanto a las condiciones climáticas del lugar.

En ocasiones se recurre a la trituración y hundimiento del lirio aplicando el método de control, debido a que es una solución rápida, sin embargo, esta no es la mejor alternativa para el ambiente debido a que trae consecuencias negativas para los cuerpos de agua [19]. Debido a que el lirio triturado se va acumulando en el fondo de las zonas acuíferas teniendo una consistencia un tanto espesa lo que trae como consecuencia que los niveles de las zonas acuíferas disminuyan paulatinamente, por consiguiente su capacidad de almacenamiento de agua también disminuye provocando una problemática más, pues para que la zona vuelva a su estado original se necesita hacer un dragado de la zona, sin mencionar que toda la sedimentación del lirio y su descomposición afecta a las especies marinas, la flora y fauna, debido a que incrementa el surgimiento de bacterias lo que conlleva a la contaminación de las vías fluviales.

Otro método similar al mecánico es el método manual que necesita un número de personas o bien voluntarios los cuales se encarguen de la extracción de la planta, sin embargo, esto sólo es eficaz cuando se realiza en zonas acuíferas pequeñas y de fácil acceso.

Control Químico: El método de control químico es una técnica que implica la aplicación de herbicidas para deshacerse de esta plaga [1]. Los productos más comunes son el paraquat y el glifosato, estos se utili-

zan mayormente en África. El método químico se caracteriza por ser un tanto rápido, eficaz y con un costo menor, sin embargo, se puede llegar a presentar complicaciones ambientales graves si no se toman las precauciones adecuadas y si no se tiene un conocimiento especializado del tema.

Se debe tener precaución cuando se emplea este método debido a que si no se tiene cuidado en controlar la parte química sus efectos pueden causar severas consecuencias en las especies las cuales no son el objetivo, actualmente gracias a diversos estudios realizados ya se utilizan diversas sustancias las cuales no causan ninguna afectación en los organismos ni en los mantos acuíferos.

Control Biológico: La tercera técnica que se aplica es el método de control biológico, está alternativa de control incluye la explotación de un huésped como adversario natural distinto del Jacinto de agua esto para disminuir el tamaño de la población de la planta hasta la fecha, algunos de los enemigos naturales de los que se tiene constancia son polillas, moscas, gorgojos, chetina y salmones, además de las especies fúngicas [1]. Como se ha mencionado anteriormente, en México no existe ningún depredador natural del LA [12]. Esta técnica resulta algo extensa, si bien el beneficio que se puede obtener es que reduce costos debido a que no se necesita la implementación de maquinaria o mano humana para la realización de esta actividad, aunque si se ve desde otra perspectiva esto podría ser una problemática puesto que al aplicar dicha técnica se debe tomar en cuenta que se requiere tener una alta precisión, si esto no se hace así, se podría salir de control ya que además de acabar con la plaga, también se estaría atacando otras especies de plantas, lo que afectaría a los animales de los ecosistemas debido a que se podría acabar con su dieta alimenticia.

Por todo lo anterior, encontrar un método de control efectivo para disminuir y controlar a esta maleza es un tema de interés global, sin embargo, aunque periódicamente se publiquen nuevos artículos en relación con la planta estos no son suficientes para atacar dicho problema [1]. Es por ello que también se ha visto la necesidad de investigar usos alternativos que se le puedan dar a esta planta y así mantenerla controlada.

Usos Alternativos del Lirio acuático

De acuerdo con diversos estudios recientes, el LA tiene mucho potencial de aplicación. Se dice que se puede utilizar para el tratamiento de aguas residuales y para la eliminación de tintes y metales pesados, entre otros [2]. Además, se ha explicado que la lignina, la celulosa, la hemicelulosa e incluso algunos biocombustibles se pueden obtener a partir del LA. E incluso esta especie se puede utilizar para la fitorremediación y para tratar derrames, porque la fibra del LA tiene una gran capacidad de absorción de aproximadamente

2.5 a 4 veces su peso [16]. Además, esta planta tiene características positivas para su utilización se productos y técnicas que resultan amigables para el medio ambiente. Los estudios científicos mayormente tratan sobre el uso y el control de la planta, sin embargo, estos no abordan temas relacionados con el aprovechamiento de la planta en la producción de productos biodegradables como empaques, artesanías, pellets para alimentos de acuicultura, bloques nutricionales para ganado, bloques de construcción, plaguicidas, té y tinturas [7].

También se utiliza en la elaboración de biocombustibles [10], en la retención de metales pesados [18], incluso en el ámbito industrial, una compañía elabora una fibra cuya materia prima es el LA para la atención de derrames y en el reciclaje de sustancias orgánicas o industriales [10]. Además, ya se ha utilizado en la fitorremediación pues ayuda a obtener una eficiente remoción del color en las aguas residuales sin la necesidad de usar reactivos químicos adicionales [20]. También sirve en la producción de etanol [14], la producción de biogás y como fertilizante orgánico [5]. La producción alternativa de bioplástico a través de la planta del lirio acuático también ha tenido un buen rendimiento [7]. Además, se ha utilizado fibra de lirio acuático proveniente de la laguna de Yuridia, para obtener fibra de lirio y utilizarla en los cultivos semi-hidroponicos donde se cultivaba lechuga y frijol, logrando la germinación y su mantenimiento [19].

CONCLUSIONES

Como se ha observado en este estudio teórico, existe hasta ahora un conocimiento general sobre el impacto negativo que provoca el LA en los ecosistemas donde es una especie invasora. Se ha visto que debido a su alta proliferación cubre las zonas acuíferas donde se encuentra, lo que afecta la fotosíntesis de la flora del ecosistema y erradica el oxígeno dentro del agua, contribuye a la reducción de la diversidad de las especies, produce dificultades en la navegación, ya sea por turismo o actividades económicas, en la potabilización del agua y en la generación de electricidad, entre otros. Y aunque se han desarrollado métodos de control de esta plaga, estos son insuficientes para resolver esta problemática, pues cada uno tiene ventajas potenciales en su uso.

Actualmente no hay literatura publicada suficiente sobre el aprovechamiento sustentable de LA específicamente en la generación de productos alternativos biodegradables. Pues reiterando lo anteriormente analizado, estos no abordan temas relacionados con el aprovechamiento de la planta en la producción de productos biodegradables. Con esto se demuestra que, aunque esta especie tiene mucho potencial de aprovechamiento, existe la necesidad de una nueva línea de investigación sobre más opciones de usos alternativos sustentables que puedan utilizarse como

un método de control efectivo y sustentable contra la plaga que a su vez reduzca los impactos nocivos que produce la planta en los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ayanda, O. I., Ajayi, T., y Asuwaju, F. P. (2020). *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms: uses, challenges, threats, and prospects. *The Scientific World Journal*, 2020. doi: 10.1155/2020/3452172.

[2] Rodríguez-Lara, J., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L., Aguirre-Mancilla, C., y Andrio-Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): una revisión, *Agronomía Mesoamericana*, 33(1). doi:10.15517/am.v33i1.44201.

[3] Penfound, T., y Earle, T. T., (1948). The biology of the water hyacinth. *Ecological Monographs*, 18 (4), 447-472. <http://www.jstor.org/stable/1948585>.

[4] Karim, A. (1948). Microbiological decomposition of water hyacinth. *Soil Science*, 66(6), 401-416.

[5] Tovar-Jiménez, T., Favela-Torres, E., Volke-Sepúlveda, T., Escalante-Espinosa, E., Díaz-Ramírez, I., Córdova-López, J., y Téllez-Jurado, A. (2019). Influence of the geographical area and morphological part of the water hyacinth on its chemical composition, *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1), 39-52. doi: 10.5154/r.inagbi.2017.10.013.

[6] Maxwell, J. A. (2019). *Diseño de investigación cualitativa*. Editorial Gedisa.

[7] Sierra-Carmona, C., Hernández-Orduña, M., y Murrieta-Galindo, R. (2022). Alternative Uses of Water Hyacinth (*Pontederia crassipes*) from a Sustainable Perspective: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 2022, 14. <https://doi.org/10.3390/su14073931>.

[8] Rojas, A. (2021) *Buchón de agua, una revisión de su capacidad para remover contaminantes del agua (tesis de pregrado)*. Bogotá, Colombia.

[9] Minshall, H. y Scratch, G. W., (1952). Effect of growth in acid media on the morphology, hydrogen-ion concentration, viscosity, and permeability of water hyacinth and frogbit root cells. *Canadian Journal of Botany*, 30, 188-208. <http://www.nrcresearchpress.com>.

[10] Acosta, D. (2019). *Evaluación de pre tratamientos: mecánico, térmico y químico sobre sustratos de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y de nopal (*Opuntia-ficus indica*) (tesis de pregrado)*. Morelia, Michoacán.

[11] Díaz Zavaleta, G., Olvera Viascán, V., Romero Luna, F., & Aguirre Martínez, J. (1989). *Control y aprovechamiento del lirio acuático en México*.

[12] Niño-Sulkowska MS, Lot A. 1983. Estudio demográfico del lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms: dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 45, 71-83.

[13] Ali, Y. M., y Khedr, I. S. E. D. (2018). Estimation of water losses through evapotranspiration of aquatic weeds in the Nile River (Case study: Rosetta Branch). *Water Science*, 32(2), 259-275.

[14] Alonso-Gómez, L. A., y Bello-Pérez, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990.

[15] Degaga, A. H. (2018). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biology and its impacts on ecosystem, biodiversity, economy and human well-being. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 8(6), 94-100.

[16] Damtie, Y. A., Berlie, A. B., y Gessese, G. M. (2022). Impact of water hyacinth on rural livelihoods: the case of Lake Tana, Amhara region, Ethiopia. *Heliyon*, 8(3).

[17] Bermúdez, B., Lamus, M., y Bermejo, A. (2022). *Suplementación con Bora (*Eichhornia crassipes*) para pollos de engorde en la fase de crecimiento*. *Revista Acta Apuroquia*, 3, 94-108.

[18] Miguel-Barrera, A., Castañeda-Antonio, D., Santamaría-Juárez, J. D., Munive-Hernández, J. A., Rivera-Tapia, A., & Ramos-Cassellis, M. E. (2020). Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 5(17), 15-28.

[19] Ortiz, J., y Linares, C. (2018). Aprovechamiento de fibra de lirio acuático en cultivos semi-hidropónicos. *Jóvenes en la ciencia*, 4(1), 947-951.

[20] Velasco, J., y Contreras, R. (2019). Alternativa para el tratamiento de efluentes de la Escuela Superior de Ingeniería Textil (ESIT-IPN) mediante fitorremediación. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 5, 150-159.